(Aus der Dr. Senckenbergischen Anatomie der Universität Frankfurt a. M.)

Über die funktionelle Struktur des Oberkieferapparates bei Neuweltaffen.

Inaugural-Dissertation
zur
Erlangung der zahnärztl. Doktorwürde
vorgelegt der
Medizinischen Fakultät
der
Universität Zürich
von

Mathilde Barth,
approb. Zahnärztin in Bern.

Mit 2 Tafeln und 19 Textabbildungen.

Wiesbaden.
Verlag von J. F. Bergmann.
1918.

(Aus der Dr. Senckenbergischen Anatomie der Universität Frankfurt a. M.)

Über die

Funktionelle Struktur des Oberkieferapparates bei Neuweltaffen.

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung der zahnärztl. Doktorwürde

vorgelegt der

Medizinischen Fakultät

der

Universität Zürich

von

Mathilde Barth,

approb. Zahnärztin in Bern.

R. UNIV. BIBLIOTHEEK LEIDEN

Mit 2 Tafeln und 19 Textabbildungen.

Wiesbaden.

Verlag von J. F. Bergmann.

1918.

ZMz

Druck der Königl. Universitätsdruckerei H. Stürtz A. G., Würzburg

1. Einleitung.

Ernst Kapp schreibt 1877 in seinen „Grundlinien der Philosophie der Technik: „Die Wunder der spongiösen Knochenregion sind aufgedeckt. Der harte Knochen muss die Wahrheit sagen. Und er wird ihrer im Laufe der Zeit noch viele neue ungeahnte zu sagen haben, bevor das Goethesche Wort: es ist nichts in der Haut, was nicht im Knochen ist, vollständig beglaubigt ist. — Das schwammartige Gebilde der Knochensubstanz, die Spongiosa, hatte von jeher offen vor aller Augen gelegen. Es war dem Menschen der Vorzeit, dessen Steinbeil behufs Auflösung der Markhöhle den Knochen in der Längsrichtung spaltete, und dem Anatomen der Neuzeit in gleicher Weise bekannt. Die aus kleinen Platten und Balken bestehende Vergitterung, ohne dass sie Gegenstand eingehender Forschung geworden wäre, war eben einfach da. Das war alles. — Der allgemeine Zweck des Knochengerüstes schien jedem einleuchtend und bedurfte keiner weiteren Erklärung. Die Mittel aber, mit welchen die Natur ihren Zweck erreicht, entzogen sich solange einer näheren Untersuchung, wie der Knochen in seiner organischen Einordnung nicht begriffen war. Sein Wachstum erschien gleich den Veränderungen anorganischer Kräfte als eine Vergrösserung durch Ansatz neuer Knochenmaterie und galt als eine Art Stütze und Tragwerk, welche, wie Holz und Stein, die Auflösung des übrigen Körpers Jahr-

hunderte hindurch überdauere. Infolge jedoch der allmählichen Klärung und Vertiefung des Begriffes vom Organismus und bei der sich mehr und mehr befestigenden Einsicht, dass der Zweck eines organischen Bestandteiles, d. h. eines organischen Gliedes, auch zugleich dessen einzige Bestimmung ist, dass also „die Art, in welcher der Knochen aufgebaut ist, die einzig mögliche Architektur desselben ist", fing man an, den sog. toten Knochen mit ganz anderen Augen zu betrachten. — Inzwischen hatte die Technik draussen über Schluchten und Gewässer hinweg mechanische Vorrichtungen aufgeführt, deren nach mathematischen Sätzen berechnete Formen ganz demselben Zweck entsprachen. Dank der Fügung der Umstände trafen die rechten Männer am rechten Fleck zusammen; wie Schuppen fiel es ihnen von den Augen — und ein neuer glänzender Lichtstrahl durchzuckte die Wissenschaft."

Kapp spielt hier an auf die denkwürdige Sitzung der Züricher Naturforschenden Gesellschaft im Jahre 1867, die uns Julius Wolff in seinem Werk „Das Gesetz der Transformation der Knochen" schildert: „Ein für die Wissenschaft überaus glücklicher Zufall hatte es gefügt, dass, als Hermann von Meyer seine Präparate in der naturforschenden Gesellschaft demonstrierte, gerade der für diesen Gegenstand berufenste unter den Gelehrten aller Orten und Zeiten, gerade der Begründer der graphischen Statik, Culmann, zugegen war. Karl Culmann bemerkte bei Betrachtung der Meyerschen Präparate, dass die Spongiosabälkchen an vielen Stellen des menschlichen Körpers in denselben Linien aufgebaut sind, welche er für solche Körper zu zeichnen gelehrt hatte, welche ähnliche Formen haben wie die betreffenden Knochen und ähnlichen Kräfteeinwirkungen ausgesetzt sind, wie diese." Die von einem Schüler Culmanns alsbald ausgeführte Einzeichnung der „Zug- und Drucklinien" in einem dem Oberschenkel analog gestalteten und analog belasteten Kran „zeigte, dass

diese Linien in der Tat ganz und gar identisch waren mit denjenigen, welche die Natur am oberen Ende des Oberschenkels durch die Richtungen, die sie hier den Knochenbälkchen gegeben, in Wirklichkeit ausgeführt hat".

In diese Jahre fallen auch die wichtigen Vorarbeiten Roux' auf dem Gebiet der Entwickelungsmechanik und das Ausarbeiten seiner Lehre von der „funktionellen Selbstgestaltung des Knochens", worunter er „eine Anpassung an die Funktion durch Ausübung derselben, wobei das Wesentliche die Erhöhung der Dauerfähigkeit ist" versteht. Die Begründung findet er in dem trophischen Reiz, den die Erschütterung und Spannung durch Zug und Druck verursacht. Dies ist am besten zu erkennen bei Teilen mit statischer Funktion, da hier der Reiz genau nach der graphischen Statik bestimmbare Formen annimmt. So treten zuletzt die Knochenbälkchen in der Richtung der stärksten Inanspruchnahme am meisten hervor. Die äussere Gestalt schmiegt sich entsprechend an. Innere Struktur und äussere Form beweisen deshalb die Vollziehung der Funktion, welche die ansetzenden Muskeln ausüben.

Mit Roux vertritt Triepel die Ansicht, „dass eine gegebene Funktion immer mit dem Minimum an Material oder mit dem gegebenen Material ein Maximum an Funktion geleistet werden kann". Ähnlich spricht sich ein anderer neuerer Forscher, Gebhardt, aus, der wohl die Knochenform, nicht aber die innere Architektur für vererblich hält. Dieses Thema näher beleuchtend, gelangt er zu der Überzeugung, „dass der Vererbung die Rolle des Bauherrn und der zwingenden Umstände anheimfällt, dass sie, wie der Bauherr, den Grundplan gibt, dessen Ausführung und Detaillierung den Technikern „Entwickelungsmechanik und funktionelle Anpassung" zufällt, dass sie die äussere Form bestimmt, die dann durch einen inneren besonderen Bau auch mechanisch widerstandsfähig herzustellen ist."

Gebhardt und Roux weisen auf die Zusammenfassungen Julius Wolffs hin, der sein „Transformationsgesetz der Knochen" nicht als ein Gesetz der allmählichen Umbildung der Knochen vom Anfang ihrer normalen Entwickelung an formuliert, sondern bloss als Gesetz derjenigen Änderungen, welche von Roux als „funktionelle Anpassung" bezeichnet werden. D. h. die Knochen können sich in ihrer Struktur neuen statischen Bedingungen, also neuen Zug- und Druckwirkungen, derartig anpassen, dass in genügend langer Zeit der Knochen die dieser neuen Funktionsweise vollkommen entsprechende, zweckmässige Struktur und Gestalt erlangt.

Zurückhaltend äussert sich 1908 Triepel noch dahin, dass die Funktion nicht immer in der Spongiosa reine trajektorielle Formen hervorbringe, aber doch imstande sei, „in geeigneten Fällen die Knochenarchitektur zu gestalten in einer Weise, dass sie mindestens einem trajektoriellen Bau sehr nahe steht". Andererseits gibt er, rückblickend auf die umfassenden Arbeiten Wolffs, zu, dass wir beim normalen Knochen dieselben Bauweisen in der Spongiosa sehen wie im transformierten, und daher die Wahrscheinlichkeit sehr gross ist, „dass auch beim normalen Knochen alles, was in der Spongiosa trajektoriell ist, vom Individuum funktionell erworben wurde".

Aus den bisher erwähnten Forschungen hat sich besonders die Spongiosastruktur der Röhrenknochen als auffällig trajektoriell gestaltet ergeben. Die Verhältnisse im Deckknochen sind viel komplizierter. Darin liegt die Ursache, weshalb man verhältnismässig spät zu deren Studium kam. Der erste Forscher, der uns mit den funktionellen Strukturen speziell im Schädelbau eingehender bekannt macht, ist meines Wissens Walkhoff. Seine Arbeiten gelten dem Anthropomorphen- und Menschenschädel, speziell dem Unterkiefer. Er bringt die trajektoriellen Strukturen des Unter-

kiefers in Zusammenhang mit der Funktion, die auf der Mechanik der Muskulatur beruht. Mit Hilfe der Methode der Röntgenphotographie gelangt er zu einer systematischen Übersicht. Nach ihm beweisen die innere Struktur und die äussere Form die Vollziehung der Funktion. Aus der vererbten Anlage erwächst die spätere Kieferform eines jeden Individuums durch die Funktion der ansetzenden Muskeln (der Unterkiefer ist nicht dem statischen Einfluss unterworfen!), wobei die Zähne die wesentlichen Überträger der aufgewendeten Kraft sind und durch ihre Grössenentwickelung, ihren Gebrauch und Verlust formgestaltend wirken. Ganz kurz beleuchtet Walkhoff die Verhältnisse im Oberkiefer. Er macht aufmerksam auf eine als „Crista alveolo-zygomatica" bezeichnete, äusserlich erkennbare „Druckleiste" beim Anthropomorphen- und Menschenschädel. Diese Knochenverstärkung beginnt an der facialen Fläche des Oberkiefers zwischen M_1 und M_2, steigt in schwach convexem Bogen in den Processus zygomaticus der Maxilla auf, um schliesslich im oberen Orbitalrand und Jochbogen zu enden. Ihre Kraftkomponente im Unterkiefer findet Walkhoff als „den Teil der Linea obliqua externa, welcher in der Richtebene des M_1 endet". Wichtig ist ferner die Erkenntnis des Autors, dass diese sowohl äusserlich, als auch in der inneren Struktur stark ausgeprägten Leisten zur Stelle führen, wo wir die stärkste Beanspruchung beim Kauakt finden. — Die Existenz von Trajektorien im Unterkiefer schon während des Embryonallebens, besonders aber zur Zeit der Geburt, wird von Walkhoff an Hand von Röntgenbildern nachgewiesen. Die Weiterentwickelung und Verschiebung kommt zustande, indem „beim Durchbruch eines hinteren Zahnes jeweilen das bestehende Trajektorium zerstört und jedesmal hinter dem durchbrechenden Zahn ein neues gebildet wird". — Walkhoff stellt ferner fest, dass im Greisenalter

ein Teil der trajektoriellen Züge im Unterkiefer wieder verloren geht, und dass dafür der Verlust der Zähne und die Abnahme der Muskelleistung die Ursache abgibt. Ihnen aber gegenüber steht ein trajektorielles Hauptsystem, das er „Trajektorium des Rückstosses" nennt, welches sich zeitlebens erhält und somit offenbar als Manifestation des Grundgerüstwerkes des Unterkieferhebels aufzufassen ist.

Mit den Verhältnissen der trajektoriellen Strukturen des Oberkiefers, die schon Walkhoff selber andeutungsweise behandelt, beschäftigt sich eingehender einer seiner Schüler, Goerke. Auch seine Untersuchungsmethode verwertet vorzugsweise das Röntgenverfahren. Er findet die Ursache der mannigfaltigen Schädelformen insbesondere in bezug auf den Kieferapparat in dem verschiedenartigen Aufbau der inneren Struktur, bedingt durch die Funktion, d. h. direkt durch die Muskulatur, indirekt durch die Zähne. Er weist bei Betrachtung der mächtigen Entwickelung des Gesichtsskelets gegenüber dem Gehirnschädel der Anthropomorphen auf den Satz des Selenka-Werkes: „Es sind die mächtigen Dauerzähne, es ist die Funktion des Fressens, dem sich die Form des Gesichtsschädels anzupassen hat." Goerke geht auf das Studium der von Walkhoff erwähnten „Druckleisten" des Oberkiefers näher ein. Dabei gelten auch seine Untersuchungen nur Schädeln von Anthropomorphen und Mensch. Die Ergebnisse seiner Forschungen sind kurz folgende: Schon bei äusserer Betrachtung können wir eine systematische Einteilung der Knochenverstärkungen innehalten. Zu unterscheiden sind nach ihm: 1. Eine beim Menschen schwach ausgebildete Crista canina. Sie entspringt von der Alveole des Caninus, steigt medianwärts auf zur seitlichen Nasenwand und vereinigt sich mit der anderseitigen zu einem Knochenpfeiler im Nasenrücken unterhalb der Sutura nasofrontalis. Ihr entspricht im Röntgenbild ein Trajektorium der Front-

zähne. 2. Eine Crista alveolo-zygomatica: sie beginnt an der facialen Wand des Oberkiefers zwischen M_1 und M_2 und geht, das Wangenbein durchquerend, über in die Jochbogeneinstrahlung. Diese Leistenstruktur entspricht dem Trajektorium der Backenzähne.
So haben wir beiderseitig zwei Pfeiler, die den von unten auf die Zahnwurzeln wirkenden Kaudruck im Knochen nach oben übertragen. Indem sich im Nasenrücken, wie oben erwähnt, die beiderseitigen vorderen Pfeiler zu einem einzigen vereinigen, finden wir die Illustration dessen, was Goerke unter dem „3-Pfeiler-System" des Gesichtsskelets versteht. Als kräftige Bindeglieder und Stützen, zur Vollendung dieses Fachwerkbaues der Natur, kommen in Betracht: der cristenartige, wulstige Orbitalrand, der Alveolarfortsatz, der Nasenrücken selber und schliesslich eine von Goerke zum ersten Male beobachtete Verbindungsbrücke zwischen der Crista canina und der Crista alveolo-zygomatica. Sie beginnt an der Stelle der Jochbogeneinstrahlung und verläuft, unterhalb vom unteren Orbitalrand, schräg aufwärts nach der Medianen, um sich über der Caninuswurzel mit der Crista canina zu vereinigen. Eine Weiterbildung dieser Knochenverstärkungen in den Knochenaussparungen findet Goerke in der wabenartigen Bauart des Bodens des Sinus maxillaris. Dabei weist er auf die Anordnung stärkerer Knochenleisten im Antrumboden, deren Bedeutung er darin sieht, dass sie den zwischen die Wurzeln der beiden trajektoriellen Systeme im Oberkiefer sich geltend machenden Druck aufnehmen sollen. Die Entstehung dieser Leisten wird nach ihm bedingt durch den Druck der einzelnen Zähne, sie sind also als Fortsetzung der „Wurzeltrajektorien" [1]) aufzufassen. Zur Verstärkung sind Kreuzungssepten als eigentliche Verstrebungen ausgebildet.

[1]) „Wurzeltrajektorien": Die Kauflächen der nach vorne geneigt gestellten Anthropomorpheninzisiven treffen direkt aufeinander, der von unten auf

Auf einem anderen Weg hat in neuerer Zeit H. Bluntschli sich der Frage der funktionellen Gestaltung im Oberkiefer genähert. Er geht von der Rolle des Jochbogens beim Kaumechanismus aus und spricht direkt von einem „Jochbogenproblem". Nach ihm „enthält die äussere Oberkieferwand und ebenso der Gaumen zweifellos ein bedeutsames System von feinsten Knochenbälkchen: ein maxillo-nasales resp. palatinales Strebepfeiler-System". (Genannter Autor, dessen Forschungen sich auf das „Gebiss der Primaten mit Ausblicken auf jenes der Säugetiere überhaupt" beziehen, betont in seinen Veröffentlichungen ausdrücklich, dass es sich um reine Hypothesen handle, die sich aber als logische Folgerungen aus den bisher erforschten Tatsachen ergeben.) Der Jochbogen selber hat nach Bluntschli eine sehr wichtige Rolle beim Mechanismus des Kauens. Das Zubeissen beim kräftigen Kauen geschieht nämlich nicht nur durch Hebung der Mandibel und Anpressen der unteren Molaren gegen die oberen, sondern es wird durch die Masseter-Wirkung neben dem aufwärts gerichteten Druck der Unterkiefermahlzähne gleichzeitig ein abwärts gerichteter Druck in den Oberkiefermolaren entstehen müssen und somit die

sie wirkende Druck wird sich also palatinalwärts übertragen müssen. Deshalb bilden sich Streben aus Knochenbälkchen, die rechtwinklig von der Wurzelscheide ausgehen. Sie wieder sind verstrebt gegeneinander durch Knochenzüge, die der Wurzelscheide parallel verlaufen. Von der Wurzelspitze selber geht eine Verstärkung verdichteter Spongiosa aus, die den Zahn vor dem Hineindrücken in den Kiefer bewahrt. Dann folgt eine Schicht unregelmässiger rundmaschiger Spongiosa. Durch diese Anordnung kommt eine Art Federung zustande. So finden wir — nach Goerke ein glänzender Beweis der Theorie Roux' — auch die Erklärung für die mit dieser Bauart verbundene Abflachung des Gaumens. (Mensch: Scherenbiss; Spongiosa schlecht entwickelt, Gaumen mehr oder weniger gewölbt, deutliche Alveolarfortsätze.) Ein Eintreiben der Molaren ins Antrum wird also verhindert durch die von der Wurzelscheide schräg aufwärts ziehenden Knochenbälkchen, die an der anliegenden Wurzelscheide endigen oder — bei den Molaren — als Leisten ins Antrum sich fortsetzen. Bei Belastung eines einzelnen Zahns findet also sofort eine Übertragung auf die Nachbarzähne statt.

Nahrung zwischen Druck und Gegendruck „zermalmt" werden. Bluntschli weist also dem Masseter und seinem Synergisten, dem Pterygoideus internus, eine besonders wichtige Rolle beim Kauen zu und fasst die Aufgabe des Temporalis als für die Geschwindigkeit des Kieferschlusses entscheidend auf. (Unterkieferschnappbewegung.) Genauer lautet seine Anschauung folgendermassen: „Das eigentliche Kauen darf nun nicht nur wie dies bisher geschah — als ein festes Annähern der unteren Zähne an die oberen aufgefasst werden. Vielmehr zeigt eine einfache Überlegung, dass der Masseter bei einer Kontraktion nicht nur den Unterkiefer an den Oberkiefer heranziehen, sondern gleichzeitig Druck und Gegendruck erzeugen muss (s. Fig. 1), so dass die Nahrung zwischen beiden Zahnreihen gewissermassen zermalmt wird. Warum dies? Der Jochbogen, an dem, wie wir sahen, der wichtigste Kaumuskel angreift, lässt sich als ein Gewölbe auffassen, das nur vorn und hinten dem Schädel aufruht. Seine Gestalt wechselt in der Säugetierreihe, insofern er bei vielen Formen mit gewaltiger Kauleistung nicht nur eine starke Wölbung nach der Seite, sondern auch nach obenzu aufweist. Wenn nun der Masseter sich kontrahiert und den Unterkiefer an den Oberkiefer herangezogen hat, dann muss sich bei weiterer Zusammenziehung notgedrungen ein Zug nach unten an dem Jochbogengewölbe geltend machen. Die straffe Muskelkontraktion sucht also die scheitelwärts gerichtete Wölbung des Gewölbes abzuflachen, und da sie ja nicht nur nach unten, sondern gleichzeitig auch nach innen zieht, ist sie auch bestrebt, den Jochbogen an den Schädel heranzupressen. — Jeder Druck, der sich auf die Kulmination eines Gewölbes geltend macht, überträgt sich aber notgedrungen auf seine Widerlager. Hinten ist dies in der Schädelkapsel und dem Tuberculum articulare gegeben, das bei der Masseterkontraktion seinen Gegendruck im sich anstemmenden Gelenkkopf des Unterkiefers findet. So wird sich

der Druck in stärkerem Grade auf das vordere Widerlager übertragen müssen, und ferner dadurch verstärkt werden, dass ein Grossteil der Masseterfasern gerade am vorderen Teil des Joch-

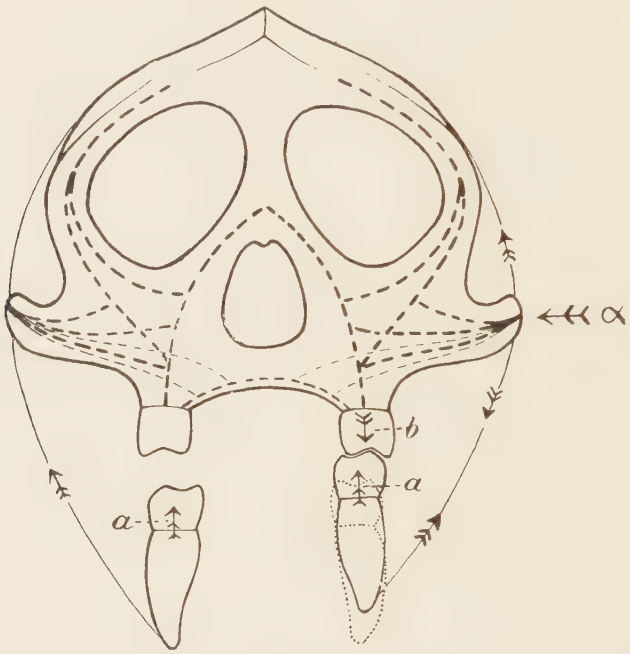

Fig. 1.
Schema der Entstehung des sog. Jochbogendruckes bei der Zusammenziehung des M. masseter.
Aus Bluntschli „Zur Phylogenie des Gebisses der Primaten mit Ausblicken auf jenes der Säugetiere überhaupt". p. 363.

bogengewölbes angreift." Es folgt eine eingehende Schilderung der vorderen Jochbogeneinstrahlung, der wichtigen Knochenaussparung der Oberkieferhöhle, wie sie uns auch Goerke in ähnlicher Weise schildert, und des Mechanismus des maxillo-nasalen resp. -palatinalen Strebepfeilersystems. Durch ein Zusammenstossen der Druckübertragung in der Mediane halten sich die beiden Seiten gewissermassen die Stange. Der Hauptdruck macht sich daher geltend auf die Knochenringe

der Zahnalveolen, in denen die Zähne ja sozusagen aufgehängt sind. Mit anderen Worten: es muss ein senkrecht nach unten wirkender Druck in den Oberkieferzähnen entstehen, entgegengesetzt gerichtet dem der andrängenden Unterkieferzähne. „So entsteht durch die Wirkung des Masseters Druck und Gegendruck gleichzeitig in beiden Postcaninenzahnreihen, die Nahrung aber wird zwischen denselben zermalmt. Das feste Kauen ist also etwas ganz anderes als das einfache Heranziehen des Unterkiefers, ist nicht ein Schnappen, sondern ein Zermalmen und wird nicht durch den Temporalis, sondern im wesentlichen durch den Masseter gewährleistet." Das von Loos histologisch bearbeitete „Längerwerden" der Zähne bei fehlenden Antagonisten beruht auf einem Umbau der Knochenwandung, entsprechend den strukturellen Änderungen der Knochensubstanz, unter abnormen Verhältnissen überhaupt. Denn solange noch ein eigentliches Kauen möglich ist, macht sich der durch die Masseterwirkung verursachte Druck auch dann noch geltend, wenn einzelne Antagonisten fehlen. Vergleichend-anatomisch gelingt es Bluntschli festzustellen, dass überall, wo der Kaumechanismus ein Zermalmen ist, d. h. bei „vorwiegend orthaler Kieferbewegung, die grössten Oberkieferzähne dort sitzen, wo sich der vordere Jochbogendruck am stärksten geltend macht". Wichtig ist, dass immer nur molariforme Zähne unter dem direkten Jochbogendruck stehen und sich der grösste Zahn immer an der Stelle findet, wo jeweils der ausgeprägteste Jochbogendruck sich geltend macht. So steht die Formgestalt und Grösse einzelner Zähne im engsten Zusammenhang mit ihren Leistungen, ja es ist ein Zusammenhang zwischen der Erwerbung der komplizierteren Zahnformen der Säugetiere mit dem Besitz eines muskularisierten Jochbogens nicht zu verkennen. Bluntschli schliesst daran die Bemerkung, dass die grösste physikalische Inanspruchnahme jeweils im Funktionsgebiet desjenigen Zahnes liegt, der am meisten dem molariformen Charakter

entspricht. Demzufolge muss im Laufe der Entwickelung, in Verbindung mit dem Zahnwechsel eine Verschiebung der Stelle maximalster Kauleistung eintreten. Da nun im Milchgebiss stets der hinterste Zahn (und bei vielen Formen auch der vorletzte) molariformen Charakter zeigt und tatsächlich eine Zeitlang unter der Wirkung des Jochbogendruckes steht, nachher aber dieser entzogen wird, kommt Bluntschli zur Feststellung, dass der Ersatz molariformer Zähne im Zahnwechsel durch nicht mehr molarenartige Dauerzähne mit jener Entlastung zusammenhängt und dass nur Zähne gewechselt werden können, die nicht oder nicht mehr unter der Druckwirkung des Jochbogens stehen. So findet man die Erklärung der Verschiebung der postcaninen Zahnreihe gegenüber dem vorderen Jochbogenwiderlager.

Nachdem ich im vorigen eine ausführliche Übersicht der mir bekannt gewordenen anatomischen Literatur über das vorliegende Thema zu geben versuchte, möchte ich an dieser Stelle einen ganz kurzen Hinweis auf die wichtige praktische Seite der Betrachtung dieser Verhältnisse für uns Zahnärzte nicht unterlassen. Guido Fischer gibt in seinem Lehrbuch, ohne jedoch genauer auf die Knochenstrukturen der inneren Kieferarchitektur einzugehen, seiner Überzeugung dahin Ausdruck, „dass gerade im Kieferapparat das strenge Abhängigkeitsverhältnis zwischen Struktur und Funktion mit besonderer Klarheit zum Ausdruck gebracht ist und in anschaulicher Weise verkörpert wird. Ja, wir können oft allein aus der Betrachtung des Gebisses sichere Schlüsse ziehen auf die Nahrungsaufnahme eines Tieres, mit anderen Worten, wichtige biologische Merkmale erkennen, die ohne Hilfe des Kieferskelettes nicht ersichtlich sind.“ Und übergehend auf die ausgedehnten, nur in bestimmter Zeitdauer zustande kommenden An- und Abbauzustände bei Dehnung des Oberkiefers z. B., fährt er fort: „Für die Lehre der funktionellen Entwickelung

der Gewebsstrukturen bietet der feinere Bau des Kiefergerüstes wertvolle Beweise, und es ist namentlich für uns Zahnärzte von höchstem Interesse, näheres hierüber zu erfahren, ganz besonders auch deshalb, weil jeder, der sich mit unserem jüngsten Wissenszweig, der Orthodontie, befassen will, ohne Kenntnis auf jenem Gebiet ziel- und planlos handeln müsste."

2. Untersuchungen.

Ich habe im obigen gezeigt, wie durch die Aufwerfung der Fragestellung nach den Beziehungen zwischen Gebiss und Jochbogen durch H. Bluntschli sich eine neue Betrachtungsweise für das Gebissproblem ergeben hat. Genannter Autor betont dabei in seinen Veröffentlichungen, dass es sich für ihn zunächst um eine hypothetische Anschauung handle, die sich zwar auf eine Reihe aufgedeckter Tatsachen stütze und ihm als logische Folgerung aus denselben erscheine, die aber im einzelnen noch der Nachprüfung und des Ausbaues durch Vermittlung weiterer tatsächlicher Feststellungen bedürfe.

Diese Aufgabe soweit als möglich zu erfüllen, wurde mir von Prof. Bluntschli ein reiches Schädelmaterial von Affen der neuen Welt zur Verfügung gestellt, welches teils der Sammlung von Prof. Dr. Goeldi in Bern, teils den von Professor Bluntschli im nördlichen Südamerika selbst gesammelten Objekten entstammt. Ich habe mich strenge bemüht, ohne vorgefasste Meinung die Objekte rein auf die tatsächlichen Befunde zu studieren und werde erst im Anschluss an die Darlegung derselben die Bedeutung der Ergebnisse für jene mechanistische Auffassung ventilieren.

Die Methodik der Untersuchung bestand in einer zweifachen. Erstens wurden bestimmte Schädel rein anatomisch auf das Verhalten der Beziehungen zwischen Zahnstellung und

Schädelkonstruktion studiert. Dabei wurden reichlich Schnitte zu Rate gezogen, die in Frontal- resp. Horizontalebenen (an in Paraffin eingebetteten Schädeln, welche mit einer feinen Säge in regelmässigen Abständen zerlegt wurden) angelegt waren. So wurde es möglich festzustellen, welche Schädelteile von massiverer Konstruktion als Strebepfeiler und Stützbalken bedeutsam sein können und welche durch ihre schwache Ausbildung als von minderer Stützfestigkeit erachtet werden müssen. Zweitens, und dies sogar hauptsächlich, zog ich die Untersuchung mit Röntgenstrahlen herbei. Sie lieferte mir sehr klare und schöne Resultate, wie im einzelnen noch zu zeigen sein wird. Aber ich betone ausdrücklich, dass dies nur deshalb möglich wurde, weil bei ihrer Anwendung eine Reihe wichtiger Kautelen erfüllt worden sind, die angewendet werden müssen, sofern nicht die Methode der Röntgendurchleuchtung zu Trugschlüssen führen soll. Wenn eine so zusammengesetzte Bildung, wie sie ein Schädel mit seinen Höhlen und Gruben, pneumatischen Kammern und Kanälen darstellt, im Röntgenbild auf trajektorielle Strukturen untersucht werden soll, dann ist bei der Beurteilung der Bilder grösste Vorsicht am Platze. Nur auf Umwegen kann ein volles Verständnis der Schattenlinien gewonnen werden. Man darf ja nicht vergessen, dass eine Schattenlinie durchaus nicht unter allen Umständen auf eine trajektorielle Verstärkungsleiste zu beziehen sein muss, dass vielmehr am Schädel, wo ja knöcherne Platten eine sehr grosse Rolle spielen, überall auch dort Schattenstreifen entstehen müssen, wo eine Knochenplatte nicht senkrecht von den Lichtstrahlen durchdrungen wird, sondern selber in der Einfallsebene der Strahlen liegt. Und wo sie schräg gestellt sein wird oder wo sie gekrümmt verläuft, werden je nach dem im Einzelnen hellere und dunklere Stellen und Linien miteinander abwechseln können. Diese Erscheinungen können in ihrer strukturellen Bedeutung nur durch sorgfältigste Analyse

richtig eingeschätzt werden. Um völlige Klarheit zu erreichen, habe ich auf Prof. Bluntschlis Rat den Weg gewählt, verschiedene Schädel ein und derselben Tierform in genau gleicher Orientierung und Durchleuchtung aufzunehmen, bei denen in zielbewusster Weise bald diese, bald jene Knochenwand vorher abgetragen worden war. Aus der Synthese der so gewonnenen Einzelbilder lässt sich mit Sicherheit jede Schattenlinie auf ganz bestimmte strukturelle Gebilde in der Wand des Schädels beziehen und wird jede Täuschung über die Lage gewisser Schattenlinien (Trajektorien) ausgeschlossen, und mit der genauen Feststellung derselben auch das Erkennen ihrer funktionellen Bedeutung erleichtert.

Meist geschah diese röntgenologische Analyse in der Weise, dass zunächst ein in der Medianebene halbierter Schädel durchleuchtet wurde. Bei einem zweiten von derselben Tierart (soweit möglich unter Beachtung gleicher Grösse und gleichen Geschlechtes) ward die seitliche Nasenhöhlenwand mit den anhängenden Muscheln entfernt und wieder eine Aufnahme gemacht; bei einem dritten ward die seitliche Kieferwand mit dem Jochbogen abgetragen [1]). So bekam ich korrespondierende und sich ergänzende Bilder, die völlig ausreichten, um Klarheit zu gewinnen. Zu weiterer Klärung dienten Aufnahmen in senkrechter Richtung durch den knöchernen Gaumen und durch den an seinen beiden Einpflanzungsstellen abgetragenen und nun flach auf die Röntgenplatte aufgelegten Jochbogen.

Die Befunde dieser Untersuchungen will ich im folgenden in der Weise wiedergeben, dass ich zunächst eine Tierform, nämlich die Affenart Cebus macrocephalus, genau zur Darstellung bringe und dabei eine gründliche Analyse bis in alle Einzelheiten gebe, während nachfolgend für andere Affenarten nicht mehr Einzelbeschreibungen, sondern nur eine Hervorhebung des Abweichenden angeschlossen werden sollen.

[1]) In einzelnen Fällen ist auch ein und dasselbe Objekt in dieser Weise mehrmals aufgenommen worden.

Ich darf aber bemerken, dass auch diese letzteren Fälle ebenso gründliches Studium im einzelnen erfuhren wie die Cebus betreffenden, und dass die abgekürzte Darstellungsart nur geschieht, um weitläufige Wiederholungen zu ersparen.

1. Die Befunde bei Cebus macrocephalus.

Das Genus Cebus gehört unter den Affen der neuen Welt zu den Formen, die einen relativ grossen langen Gehirnschädel und eine relativ kurz entfaltete Zahnreihe besitzen. Es hat grosse, weit vorragende Eckzähne, dagegen sind die Mahlzähne nur von mässiger Grösse und speziell die letzten Molaren im Oberkiefer schon erheblich gegenüber ihren Nachbarn reduziert. Der Jochbogen ist schlank, er springt lateralwärts nur mässig vor, läuft von seiner hinteren Einpflanzungsstelle lateralwärts gewölbt zur vorderen, in die er allmählich, kräftig medialwärts einbiegend, ausstrahlt. Eine eigentliche Knickung zwischen der hinteren Wölbung (über die Schläfengrube) und der Einstrahlungskrümmung fehlt fast ganz oder ist höchstens eben angedeutet. Eine diese Verhältnisse klar beleuchtende Abbildung findet sich bei Bluntschli (1911, S. 371). Im Vergleich mit anderen platyrrhinen Affen (z. B. Mycetes) fällt der Zusammenhang zwischen der stark vorwärts gerichteten Entfaltung des Gehirns und der Kürze der Kiefer oder, mit anderen Worten, die relativ geringe Schnauzenentfaltung des Gesichtsschädels auf. Wie schon Bluntschli (1911, S. 126) erwähnt, ist beim erwachsenen Tier die Kaufläche des ersten oberen Molaren und damit dieser ganze Zahn deutlich grösser als bei M_2, und bei diesem wieder wesentlich grösser als bei dem relativ sehr kleinen dritten, obern Molaren. Diese relative Grösse aber ist nach ihm „nichts anderes als der Ausdruck ihrer funktionellen Bedeutung". Mit ihr in Zusammenhang steht die relativ weit nach vorne und unter starker Einbiegung nach medialwärts erfolgende Einpflanzung des Jochbogens. Sie

erfolgt mit ihrem Centrum auf den vorderen Kronenteil von M_1, strahlt aber auch rückbiegend auf M_2 aus und geht vorwärts auslaufend gegen die Prämolaren in die äussere Wand des Sinus maxillaris über. Im Milchgebiss, dessen Verhältnisse bei Bluntschli (1911) ebenfalls gestreift werden, sticht der massive Bau von md_3 [also dem Vorgänger des hintersten Prämolaren (P_3)] ins Auge (vgl. Textfig. 2), welcher durchaus molariform aufgebaut ist. Und offenbar wieder in Zusammenhang damit liegt hier die Jochbogeneinpflanzung an anderer

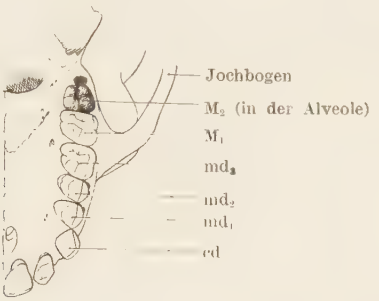

Fig. 2.
Oberkiefergebiss von Cebus hbidinosus (Nr. 155 vgl. Textfigur 3 b) Kaufläche in natürlicher Grösse.

Stelle, nämlich weiter rostralwärts als beim erwachsenen Tier. Während des Zahnwechsels muss sie also eine Verlagerung erfahren und diese Verlagerung, die nach hinten zu stattfindet, muss mit einem Umbau der die postcaninen Oberkieferzähne aufnehmenden Knochensubstanz einhergehen. Diese Erscheinung, die ja auch vom Menschen längst bekannt ist, soll hier zunächst rein deskriptiv noch etwas genauer geschildert werden, da ich im späteren Verlauf meiner Untersuchungen auch dazu komme, diese Umgestaltungsvorgänge im Röntgenbild zu untersuchen und sich dabei Anhaltspunkte für die trajektorielle Bedeutung des Oberkieferbaues ergeben werden.

Drei Bilder von verschiedenen Altersstadien von Cebus libidinosus, die ich der Freundlichkeit von Prof. Bluntschli verdanke, deren Originalobjekte ich selbst eingesehen und studiert habe, sollen dabei das Wichtigste erläutern. Textfig. 3 zeigt in a ein Tier mit reinem Milchgebiss im Oberkiefer (im Unterkiefer ist schon der erste Dauermolar durchgebrochen); hier findet sich der Schwerpunkt der Jochbogeneinpflanzung über dem vorderen Kronenteil des dritten Milchmolaren (md_3).

a) Milchgebiss. Cebus spec. (Nr. 180 ♀). Der Jochbogen steht über dem vorderen Aussenhöcker von m d_3, der typisch molariform ist.

b) Zahnwechsel. Cebus libidinosus (Nr. 155 ♀) [vgl. dazu Textfigur 2]. Der Jochbogen steht über dem hinteren Aussenhöcker von m d_3.

c) Definitives Gebiss. Cebus libidinosus (Nr. 152 ♂) Die Jochbogeneinpflanzung liegt über M_1.

Fig. 3.
Verschiebung der Jochbogeneinpflanzung im Laufe der Ontogenie bei Cebus.

Abbildung 3 b ist von einem etwas älteren Tier, im Oberkiefer stehen noch die Milchcaninen und die drei Milchmolaren (die mittleren Schneidezähne sind gewechselt, die seitlichen eben im Durchbruch begriffen), ausserdem ist der erste Dauermolar durchgebrochen, der zweite noch vor dem Durchbruch. Das Centrum der Jochbogeneinstrahlung hat sich auf den hinteren Kronenteil von md_3 verlagert (vergleiche auch Textfig. 2, die dasselbe Objekt in anderer Ansicht betrifft wie Fig. 3 b). Endlich gibt Abbildung 3 c ein ausgewachsenes Exemplar wieder.

Hier hat sich also während des Zahnwechsels die Jochbogeneinpflanzung bei Cebus libidinosus um eine volle Zahnlänge verschoben. Wohl auf Grund solcher Beobachtungen kam Bluntschli zu dem Schluss: „Immer stehen nur molariforme Zähne unter dem direkten Jochbogendruck, und immer findet sich der grösste Zahn direkt unter der Stelle, wo der ausgeprägteste Jochbogendruck sich geltend macht.“ Dem entspricht ja auch die Tatsache, dass bei Cebus libidinosus nur md_3, nicht aber md_1 und md_2 eine molariforme Krone aufweist.

Meine Röntgenuntersuchungen an Cebus (sie beziehen sich auf die Species macrocephalus), die ich in der Folge in ihren Ergebnissen mitteilen werde, bedürfen zum vollen Verständnis einer Reihe anatomischer Vorbemerkungen. Dieselben lassen sich am besten derart geben, dass ich jeweils eine Schilderung der Formverhältnisse der geröntgeten Objekte der Beschreibung der Röntgenbilder selber vorausschicke, wobei da und dort etwas weitergreifend auf Beobachtungen hingewiesen wird, die entweder die Variabilität der Einzelbeobachtungen an verschiedenen Exemplaren betreffen, oder auch um eine zweckmässige Nomenklatur schaffen zu können schon von einzelnen Verhältnissen anderer Tierformen, deren Beschreibung im übrigen erst nachgestellt werden soll, handeln.

1. Objekt (Cebus macrocephalus A 32; Objekt für die Figuren 5–7 und 5a–7a). Rechte Schädelhälfte. An ihr sind zwei Eingriffe vorgenommen. Erstens ist der Jochbogen durch einen der Medianebene parallelen Sägeschnitt abgetragen. Derselbe ist so geführt, dass die vordere Jochbogeneinstrahlung erhalten blieb, der Schnitt trifft daher die Sutura zygomaticamaxillaris etwa in der Mitte der Schnittfläche. Die hintere Abtragungsstelle trifft die Crista supramastoidea, den Processus retroglenoidalis und den äussersten Teil des nur ganz leicht wulstig gestalteten Tuberculum articulare. Von diesen Gebilden sind daher auch am isolierten Jochbogen, der im Röntgenbild

(Figuren 6, 6a, 7, 7a) wiedergegeben ist, die lateralsten Teile nachweisbar. Ferner ist an der nasalen Seite eine starke Abtragung von Knochensubstanz erfolgt. Sie betrifft nicht nur die Nasenscheidewand und den Muschelapparat, sondern auch die ganze mediale Sinuswand und die Gaumenplatte. Der Alveolarteil des Oberkiefers und die gesamten Augenhöhlenwände sind aber erhalten.

Die faciale Fläche dieses Knochenpräparates zeigt folgende Verhältnisse: Die Jochbogeneinstrahlung pflanzt sich mit einer deutlichen, kegelartigen Vorwölbung, die gleichzeitig Knochenverstärkung ist, in den Oberkiefer ein. Dieser Knochenwulst ist das, was Walkhoff und Goerke Crista alveolozygomatica nennen. Er verläuft von der Jochbogeneinpflanzung ausstrahlend gegen die Molarenwurzeln, besonders nach dem senkrecht unter ihm liegenden M_1. Im vorderen Teil des Oberkieferapparates treffen wir auch eine ähnliche Knochenwulstung; sie entspricht der Wölbung der Caninuswurzel und über ihr liegt die verstärkte Knochenpartie, welche Goerke Crista canina nennt. Sie läuft in die Wulstung des unteren Augenhöhlenrandes und in die Knochensubstanz des seitlichen Nasenrückens, der auch von den Incisivenwurzeln her Verstärkungen in sich aufnimmt, aus.

Von unten betrachtet zeigt sich die Stelle der Einstrahlung des Jochbogens über der vorderen buccalen Wurzel von M_1. Doch dürfen wir dabei nicht ausser acht lassen, dass daneben in sanfter Biegung auch eine Knocheneinstrahlung sowohl gegen die vorderen Backenzähne (Prämolaren) als auch nach dem hinter der Hauptstelle des Einstrahlungskegels gelegenen Teil des Oberkieferkörpers stattfindet.

Bei der Innenansicht liegt die Oberkieferhöhle mit all ihren Ausbuchtungen breit eröffnet vor uns. Dabei fällt uns auf, dass die Wurzeln der postcaninen Zähne zu hohen Vorwölbungen des Antrumbodens führen. Das Maximum dieser

Emporragungen kommt durch die Wurzeln des P_3 und des M_1 zustande. Ein weiteres kommt hinzu. Gerade von der Stelle aus, wo die Alveolenwände der beiden eben genannten Zähne sich vereinigen, steigt, die faciale Sinuswand gleichsam versteifend, an ihr eine feste Knochenleiste empor in der Richtung nach dem Augenhöhlenboden zu. Ich spreche von dieser, von Zuckerkandl auch beim Menschen gesehenen Knochenleiste, als dem „Hauptpfeiler“ der im Sinus aufsteigenden Verstärkungsleisten. Er teilt die Oberkieferhöhle in eine hintere grosse und eine vordere kleine Bucht, welch letztere eine annähernd kugelige Form zeigt, während die erstere mehr würfelförmig erscheint. Dem Hauptpfeiler im Sinusinnern entspricht an der facialen Oberkieferwand die Knochenverstärkung, die wir Crista alveolo-zygomatica nennen.

Aber auch an der vorderen und hinteren Sinusaussenwand, wie auch im Sinusboden, stossen wir auf Leistenbildungen. So finden wir in der lateralen Wand, vor und hinter dem Hauptpfeiler gelegen, weitere Systeme von Knochenleisten, die ihm parallel verlaufen. Es sind die bei anderen Exemplaren an Zahl, Ausdehnung und Aufteilung nicht unbedeutend variierenden „vorderen und hinteren Nebenpfeiler“.

Die Verhältnisse des Antrumbodens sind leichter als aus unserem Objekt 1 aus dem

2. Objekt (Cebus macrocephalus A 36) zu entnehmen. Es diente als Grundlage für das Röntgenbild der Textfigur 9. Seine Formverhältnisse in der Ansicht von oben zeigt Textfig. 4. An diesem Präparat hat ein annähernder Horizontalschnitt, der vorn kurz oberhalb des Unterrandes der Apertura pirifomis beginnt und nach hinten gegen die Centren der Pori acustici externi geführt ist, das ganze Mundhöhlendach mit den Jochbogeneinpflanzungen abgetrennt. Sämtliche Zahnalveolen ausser jener der Eckzähne liegen in ihrer ganzen Länge in dem Präparat, nur die Eckzahnalveolen sind durchschnitten. Die Kiefer-

höhlen werden etwas über der Mitte ihrer Höhe von der Schnittebene zerlegt. Die sehr ausgeprägten Leistenbildungen am Antrumboden bestehen zunächst aus longitudinalen Bildungen. Sie sind auf die Prominenzen der Mahlzahnwurzeln (zum Teil auch der Prämolaren) zurückzuführen und müssen demnach mit den Zahnwurzeln selber in engem Zusammenhang stehen. Wir unterscheiden sie, die in jeder der beiden Kieferhöhlen annähernd in der Horizontalebene und longitudinal verlaufen,

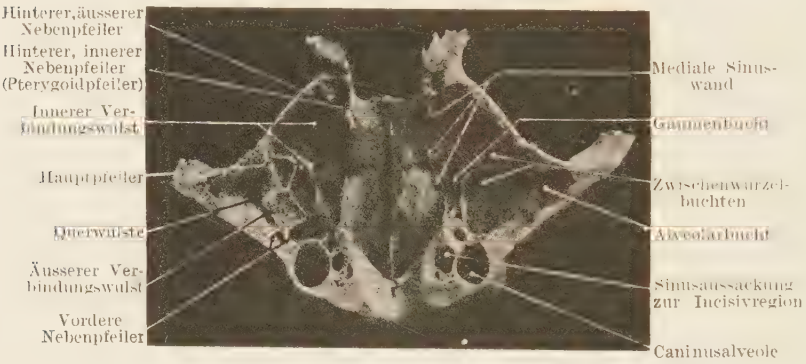

Fig. 4.
Gaumen und Kieferhöhlenboden von oben.
(Cebus macrocephalus A 36.) ¾ nat. Gr.

als „Verbindungswülste“ von anderen kürzeren, quer zu ihnen liegenden „Querwülsten“. Die Verbindungswülste wiederum lassen eine Einteilung in zwei Hauptstränge zu: einen über die buccalen (lateralen) Wurzeln ziehenden „äusseren Verbindungswulst“ und einen über den palatinalen (medialen) Wurzeln „inneren Verbindungswulst“. Die sie kreuzenden oben erwähnten Querwülste stellen nicht nur Verbindungen zwischen dem inneren und äusseren Verbindungswulst her, sondern streben auch, direkt oder indirekt, als kleine Knochengräte den verschiedenen Pfeilern in der lateralen Sinuswand zu.

Die geschilderten Bildungen der Pfeiler und Wülste führen uns zu folgendem System der reichen Buchtengliederung des Antrumbodens. Zwischen dem äusseren Verbindungswulst und der lateralen (facialen) Oberkieferwand liegt die „Alveolarbucht", die tief in das Gebiet der Jochbogeneinstrahlung einragt und deren talartiger Grund genau der Crista alveolo-zygomatica an der facialen Fläche der Maxilla entspricht. Die mediale Knochenwand des Antrums und der innere Verbindungswulst grenzen eine „Gaumenbucht" ab. Von ihr aus gelangen, an Grösse und Zahl bei anderen Exemplaren recht verschieden, sog. „Gaumenaussackkungen" in das Gebiet des harten Gaumens. Sie reichen an unserem Objekt bis zur Mittellinie hin, wie das Röntgenbild Textfigur 9 zeigt. Schliesslich sind noch die zwischen dem äusseren und inneren Verbindungswulst liegenden „Interradikal- oder Zwischenwurzelbuchten" zu erkennen, die durch die Querwülste in weitere Unterabteilungen getrennt werden.

3. Objekt (Cebus macrocephalus A 35; von dem die Röntgenaufnahme Fig. 8a und die Textfig. 8), linke Schädelhälfte. Um im später zu besprechenden Röntgenbild jede Überdeckung durch die faciale Oberkieferwand und die Jochbogeneinstrahlung auszuschalten, entfernte ich hier alle beide, und zwar mitsamt dem Jochbogen selber. Der Sägeschnitt verläuft ungefähr parallel zur Medianebene und legt den Sinus übersichtlich von aussen frei. Er beginnt kurz seitlich vom Foramen infraorbitale, eröffnet die buccalen Wurzelalveolen von P_2, P_3 und M_1, während die entsprechenden Alveolen von P_1, M_2 und M_3 uneröffnet bleiben. Der Orbitalboden (Sinusdach) wird nur wenig lateral von seiner tiefsten Stelle longitudinal getroffen. Im hinteren Teil greift der Schnitt auf den die Fissura orbitalis inferior begrenzenden Teil des Jochbeins über und trifft dann einen zweiten Sägeschnitt, der etwa in der Höhe des Ober-

randes der Fossa lacrimalis etwas geneigt gegen die Ala magna des Keilbeins durch die seitliche Orbitalwand geführt ist und deren unteren Teil entfernt. An der nasalen Oberfläche wurden auch bei diesem Objekt die Nasenscheidewand und der Apparat der Nasenmuscheln abpräpariert.

An der so vorbereiteten Schädelhälfte geben sich bei schrägem Einblick in den Sinus von aussen und oben von den Leistenbildungen der Oberkieferhöhle folgende Einzelbildungen zu erkennen: 1. Ein kräftiger, in der Vorderwand des Sinus gelegener und zur Nasenregion steigender Knochentrakt, dem der mediale Schenkel des vorderen Nebenpfeilers vom äusseren Verbindungswulst aufsteigend leistenartig aufsitzt. Er liegt dabei nach hinten von der vom Schnitt nicht eröffneten Caninusalveole. 2. Ein deutlicher Verbindungswulst mit hügeligen Erhebungen, welcher den palatinalen Wurzeln der postcaninen Zähne entspricht und vorne ebenfalls, aber flacher in jenen eben erwähnten Nebenpfeiler ausläuft, während er nach hinten sich in eine wenig prominente Leiste fortsetzt, die vom Sinusboden langsam am medialen Rand der Sinusrückwand aufsteigt und etwa in Höhe der Mitte von letzterer schwächer wird. Hier tritt von hinten die schmale Pars perpendicularis des Gaumenbeins an die Sinusrückwand, den Boden der Fossa pterygo-palatina bildend. Dicht dahinter liegt der Flügelfortsatz. Bei Betrachtung des Objekts gegen das helle Fenster ist ganz deutlich zu erkennen, wie ein Teil jenes stärkeren Knochenzuges, der vom inneren Verbindungswulst sich erhebt, durch das Gaumenbein in die Wurzel des Flügelfortsatzes Fortsetzung findet. Darum sei dieser Knochenfrakt „Pterygoidpfeiler" genannt. Er ist auch in Textfig. 4 sichtbar. Ein anderer schwächerer Schenkel unserer Leiste lässt sich auch oberhalb der Mitte der Sinusrückwand erkennen. Er strahlt (nach vorn und lateral vom Foramen sphenopalatinum) in den hinteren Teil des Sinusdaches (Orbitalboden) ein. 3. Ein äusserer Ver-

bindungswulst, der von unserer Schnittebene gerade getroffen ist. Der Hauptpfeiler, der laterale Teil des vorderen und der hinteren Nebenpfeiler sind durch den Sägeschnitt entfernt worden.

Die nasale Sinuswand weist die grosse, ungefähr ovale Öffnung des Hiatus maxilliaris und nach vorne und hinten davon nur dünne Knochenplatten auf. In der vorderen derselben mündet der Canalis naso-lacrimalis.

Was zeigen uns nun die Röntgenbilder?

Fig. 5 und 5a (letztere auf Taf. 1). (Röntgenbild unseres 1. Objektes, bei welchem, wie nochmals bemerkt, die ganze Aussenwand der Kieferhöhle erhalten, die Innenwand und der knöcherne Gaumen aber entfernt sind.) Eine annähernd senkrechte, schmale, dunkle Linie oberhalb des Alveolarseptums zwischen M_1 und P_3 ist die markanteste Erscheinung am Kieferteil. Zweifellos handelt es sich hier um unseren Hauptpfeiler. Rechts und links von ihr treffen wir auf einen deutlichen Schatten, der sicher dem stehengebliebenen Stumpf der vorderen Jochbogeneinstrahlung entspricht. Nach vorn und hinten von beiden erwähnten Verdichtungen können wir zwei ausgedehnte helle Flächen erkennen, und zwar zeigt die vordere eine rundliche, die hintere, die die grössere von beiden ist, eine mehr viereckige Form; es ist die Zweiteilung der Oberkieferhöhle durch das System des Hauptpfeilers.

Das Gebiet vor der vorderen Sinusausbuchtung wollen wir zuerst genauer ins Auge fassen. Es entspricht der Hauptsache nach jener von uns als Crista canina am Knochenbild unterschiedenen stärkeren Knochenbildung und zeigt nun im Röntgenbild eine Reihe feiner und bestimmt gerichteter Liniensysteme, die ich als trajektorielle Strukturen auffassen und in ihrer Gesamtheit als trajektorielles System der Crista canina bezeichnen möchte. Es ist durch zwei Hauptgruppen von Linien gekennzeichnet. Erstens lassen sich vom

Gebiet der Inzisivenalveolen, besonders aber von jenem der ausgedehnten Caninusalveole ganze Bündel von Zügen zur Seitenwand der knöchernen Nase und bis zum inneren Augenwinkel verfolgen. Sie beginnen an den von Walkhoff als Alveolarkörbe bezeichneten, eigentümlichen netzartigen Knochenstrukturen der Alveolarwände und endigen entweder an der Wurzel der Knochennase oder strahlen sogar durch diese in die Stirnregion oder den oberen Augenhöhlenrand aus. Auch

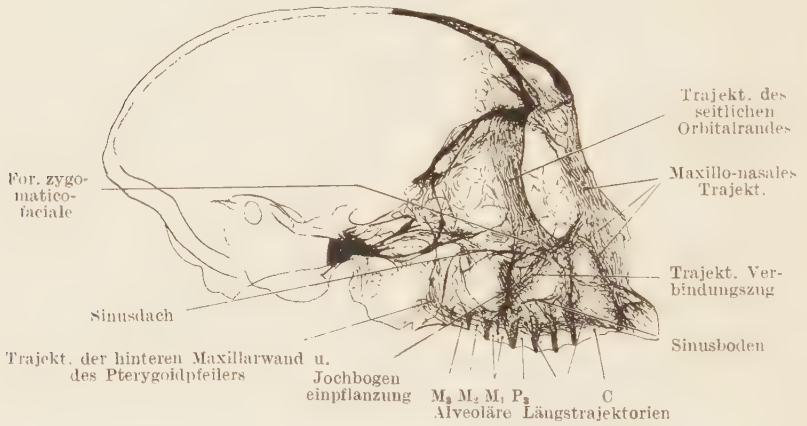

Fig. 5.

Rechte Schädelhälfte. Jochbogen abgesägt und einzeln geröntget (s. Fig. 6 u. 7.) Einpflanzungsstelle aber erhalten. Gaumen, mediale Wand des Sinus maxillaris und Muschelapparat abgetragen. Äussere Fläche der Schädelhälfte auf Platte aufruhend.

Cebus macrocephalus (Nr. A 32).

von den Prämolarenalveolen (namentlich den vorderen) gesellen sich einzelne Züge bei, die offenbar in unserem oben geschilderten vorderen Nebenpfeiler der Kieferhöhlenwand verlaufen. Die Gesamtheit dieser beschriebenen trajektoriellen Züge möchte ich als ein maxillo-nasales Trajektorium benennen. Nun gibt es aber noch eine zweite Richtung, in der andere der Linien, die ersteren kreuzend, verlaufen. Ein Teil von ihnen kommt wieder von den Inzisiven-

alveolen, zahlreichere von der Caninusalveole und ein nicht unbeträchtlicher Teil aus dem vorderen Nebenpfeiler, also von den Alveolen des Prämolaren. Diese Züge sammeln sich gegen den Unterrand der Orbita und laufen in dem seitlichen Augenhöhlenrand aufsteigend weiter. Sie nehmen hier eine Lage in der Randzone der Orbitaöffnung ein und repräsentieren ein vorderes maxillo-orbitales Trajektorium des trajektoriellen Systems der Crista canina, erscheinen mir aber, im ganzen betrachtet, jenem maxillo-nasalen Trajektorium gegenüber von schwächerem Ausbildungsgrad.

Richten wir nun unser Augenmerk auf das Gebiet unseres Hauptpfeilers und der vorderen Jochbogeneinpflanzung, d. h. auf die markante dunkle Linie oberhalb des Alveolarseptums zwischen M_1 und P_3, und den nach vorn und hinten von ihr in Erscheinung tretenden Schatten. Dieses Gebiet liegt zwischen den beiden helleren Stellen der vorderen und hinteren, seitwärts gerichteten Ausbuchtungen der Kieferhöhle und ist eine zweite wichtige Stelle, mit der sich trajektorielle Strukturen in Verbindung finden. Da treffen wir zunächst vom Alveolarkorb des ersten Molaren, aber auch von den Körben des dritten (vielleicht auch zweiten) Prämolaren kommende Züge, die sich in unserem dunklen Hauptpfeiler sammeln, durch ihn zum seitlichen Teil des Orbitalbodens ziehen und sich dann in fächerartiger Ausbreitung in den lateralen Rand der Orbita fortsetzen. In ihm liegen sie grösstenteils im Anschluss nach hinten an die vorderen maxillo-orbitalen Züge und sind ihnen annähernd parallel. Unter dem Foramen zygomatico-faciale strahlen aber untere Züge des Fächers auch senkrecht gegen den freien Rand der Orbita aus. Dass wir dieses Trajektorium als hinteres maxillo-orbitales bezeichnen, ist ohne weiteres verständlich.

Aber auch hier kommen andere Zugrichtungen hinzu, die offenbar mit dem Jochbogen in Beziehung stehen, von dem

an unserem Objekt nur noch der Einpflanzungskegel erhalten ist. Es ist nun ratsam, unsere Fig. 5a mit der Lupe genauer anzusehen. Da zeigt sich nach hinten von der dunklen Linie des Hauptpfeilers im oberen Teil eine Zone von zumeist absteigend verlaufenden Linien, während im unteren scheinbar plötzlich Züge beginnen, die leicht schräg aufsteigen, anscheinend vor den ersteren durchziehen und gegen den unteren Orbitalrand laufen. Beide Gruppen von Zügen kommen sicher aus dem Jochbogen; wie sie sich in diesem verhalten, zeigen unsere Figuren 6, 6a und 7, 7a, die den abgesägten Jochbogen desselben Objektes wiedergeben, worauf ich später genauer eingehe.

Die erste Gruppe verfolge ich nach unten zu in fächerartiger Ausbreitung zum Alveolargebiet, es ist ein Trajektorium jugo-alveolare. Mit Sicherheit sehe ich hinter dem Hauptpfeilerschatten absteigende Linien zur Alveole von M_1, namentlich nach dessen vorderer Wurzel, während von den Linien, die aus der Alveole der hinteren Wurzel desselben Zahnes und jener von M_2 gegen das Unterende des Hauptpfeilerschattens aufsteigend verfolgbar sind, mir nicht alle in den Hauptpfeiler einzutreten scheinen, sondern zum Teil ebenfalls dem Trajectorium jugo-alveolare zugehören dürften. Drittens glaube ich auch Züge von den Alveolen der zwei hinteren Prämolaren damit in Verbindung zu sehen, muss aber die endgültige Entscheidung offen lassen, ob sie nicht vielleicht zum trajectoriellen System des Hauptpfeilers (hinteres maxillo-orbitales Trajektorium) gehören. Recht wahrscheinlich erscheint es mir auch, dass mit diesem oberen Teil der Jochbogeneinpflanzung ein Teil der Züge, die wir vorher im seitlichen Orbitalrand fanden, in Verbindung steht, namentlich da in Fig. 6 und 7 ein solches Aufbiegen von Linien gegen den oberen Teil der vorderen Schnittstelle klar zu erkennen ist. Dann hätten wir darin ein Trajectorium jugo-orbitale superius gefunden.

Die untere Gruppe von Linien, die aus dem unteren Teil des der Schnittfläche durch die vordere Jochbogeneinpflanzung entsprechenden Schattens kommt, vermag ich deutlich über den Hauptpfeilerschatten weg in die Aussenwand der vorderen Ausbuchtung der Kieferhöhle und weiter zum unteren Orbitalrand zu verfolgen. Sie verläuft dabei nach oben vom Foramen infraorbitale zur unteren Medialecke der Orbitalbegrenzung und setzt sich vielleicht sogar gegen die Nase fort, indem sie Anschluss an unser maxillo-nasales Trajektorium gewinnt. So erkläre ich mir wenigstens einen Teil der dunklen Linien über dem Spitzengebiet der Caninusalveole unserer Fig. 5 und 5a. Es verbindet also dieses Trajektorium, das ich als Trajectorium jugo-orbitale inferius bezeichnen will, das Gebiet der Jochbogeneinstrahlung mit jenem der Crista canina. (Trajektorieller Verbindungszug.) Fraglich bleibt es mir, ob in diesem Verbindungszug wirklich nur vom Jochbogen kommende Linien enthalten sind, ob nicht vielmehr sich auch solche aus der Aussenwand der hinteren Aussackung der Kieferhöhle, d. h. dem Alveolargebiet der hinteren Molaren beigesellen.

Ausser den beiden trajektoriellen Systemen der Crista canina und der Jochbogeneinpflanzungsstelle gibt es nun aber noch längsverlaufende, im Alveolarteil gelegene trajektorielle Linien. Dass sie an unserem Objekt wirklich zum Alveolarteil und nicht zum Gaumen gehören, beweist die Tatsache, dass ja letzterer abgetragen ist. Sie sind besonders deutlich nahe der Alveolaröffnung des Eckzahns, liegen an den Prämolarenalveolen etwas höher, ebenso auch bei den Molaren, wo sie von der Alveole des zweiten an nach hinten divergieren. Ein Teil der Linien wird deutlich in den Pterygoidfortsatz verfolgbar und liegt in unserem Pterygoidpfeiler, ein anderer schwächerer biegt in die hintere Maxillarwand auf. Daraufhin stelle ich also ein System alveolärer Längstrajek-

torien auf und es wird später an anderen Objekten zu zeigen sein, dass es deren eigentlich zwei gibt, ein äusseres, das hinten mit der hinteren Maxillarwand (Gebiet des Tuber maxillare) in Verbindung steht, und ein inneres, das in den Pterygoidfortsatz ausläuft. Unser vorliegendes Objekt gestattet aber diese Trennung wegen der hierfür ungeeigneten Seitenansicht vorläufig noch nicht.

Fig. 6 und 7 (vgl. auch Fig. 6a und 7a auf Tafel 1). [Der zum 1. Objekt zugehörige Jochbogen isoliert und von medial resp. lateral durchleuchtet.]

Nachdem wir in obigen Ausführungen in der Stelle der

Fig. 6.

Fig. 7.
Abgesägter rechter Jochbogen einzeln aufgenommen.
Cebus macrocephalus (Nr. A 32).

Jochbogeneinpflanzung die Vereinigung der Strahlen der jugo-alveolären und der oberen und unteren jugo-orbitalen trajektoriellen Systeme gefunden haben, möchte ich mit Hilfe der Röntgentechnik im abgetragenen Jochbogen selber die Fortsetzungen dieser Knochenzüge nachweisen. Betrachten wir uns die vordere Einpflanzungsstelle der Fig. 6 und 7, so erkennen wir deutlich einen strahlen- oder fächerförmigen Eintritt, ein Teil kommt von der Orbita her, der andere aus dem unteren Alveolargebiet in den Jochbogen. Diesen selber durchziehen sie, als annähernd parallel verlaufende, feine, dunkle Linien im Bild kenntlich, in der Längsrichtung, um gegen das

hintere Widerlager zu (Gegend des flachen Tuber maxillare) durch engstes Zusammenschliessen eine solche Verdichtung zu erfahren, dass einzelne Züge nicht mehr zu unterscheiden sind. Ob bei diesem Längsverlauf auch noch Torsionen mitspielen, kann nur eine stereoskopische Untersuchung verschiedener Teilpräparate herausfinden.

Fig. 8 und 8a. (Zum 3. Objekt, bei welchem, wie ich kurz wiederhole, zur Vermeidung von Überdeckungen die faciale

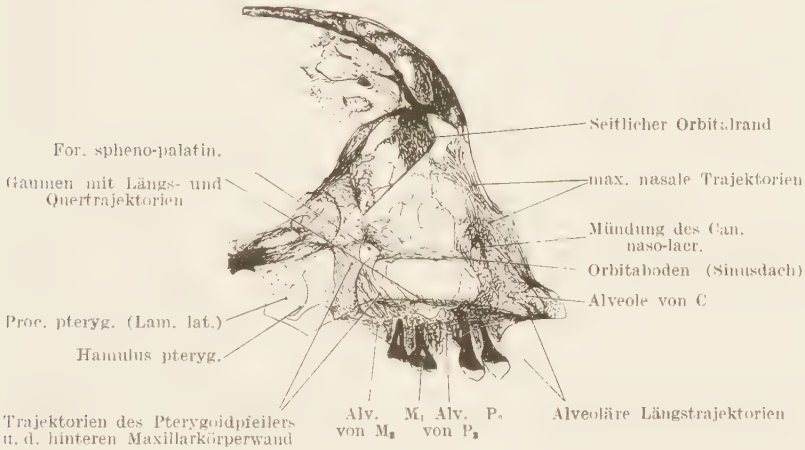

Fig. 8.

Linke Schädelhälfte. Aussenwand des Sinus maxillaris (mit Jochbogeneinpflanzung und unterem Teil der seitlichen Orbitalwand) abgetragen. Muschelapparat entfernt, mediale Sinuswand und Gaumen erhalten. Aussenfläche der Schädelhälfte der Platte aufruhend.
Cebus macrocephalus (A 35).

Oberkieferwand bis dicht an die Zahnreihe, und die Jochbogeneinstrahlung mitsamt dem Jochbogen selber, ferner die Nasenscheidewand und der Muschelapparat entfernt sind. Dagegen ist der Gaumen erhalten.)

Hier haben wir nur nach den trajektoriellen Bahnen zu forschen, die den übrig gebliebenen Verstärkungssystemen entsprechen. Als erstes wollen wir wiederum die Hauptzüge im Gebiet der Crista canina verfolgen. Ohne hierüber etwas

wesentlich Neues zu bieten, gibt uns das Durchleuchtungsbild Fig. 8 und 8a eine äusserst klare Übersicht über den intakten vorderen Teil des trajektoriellen Systems der Crista canina. Wiederum sehen wir aus den Alveolarkörben der Inzisivenwurzeln, ebenso aus der ausgedehnten Fläche der Caninusalveole und sehr deutlich ausgeprägt auch aus dem Gebiet der Alveolen der ersten Prämolaren kommende Züge, die in wechselnd dichten Bündeln nach der seitlichen Wand der knöchernen Nase streben. Es handelt sich um das oben geschilderte maxillo-nasale Trajektorium. Wir überblicken in seinem Endverlauf, wie seine Bahnen, eine ziemlich ausgedehnte Bucht der Stirnhöhle umschlingend, im Stirnbein eine Verdichtung erfahren.

Was das maxillo-orbitale Trajektorium anbelangt, so sind nur kleine Teile desselben zu sehen; es sind dies kurze Linien, die von den Inzisivenalveolen, der Caninusalveole und besonders auch den Wurzelfächern der beiden ersten Prämolaren herkommen. Des Sägeschnittes wegen fällt die Übersicht über ihren weiteren Verlauf fort, ebenso wie die über die Linien sowohl des Jochbogens und seines Einpflanzungskegels, als auch des Orbitalringes; einzig im stehengebliebenen Gebiet des seitlichen oberen Augenhöhlenrandes sehen wir eine dichte Ansammlung meist parallel verlaufender trajektorieller Linien der Schädelkapsel zustreben.

Unsere Hauptaufmerksamkeit richtet sich hier dem Verlauf der alveolären Längstrajektorien zu, der durch die Entfernung der facialen Oberkieferwand besonders übersichtlich geworden ist. So beobachten wir denn, wie diese Züge ihren Ursprung von der Verdichtung am freien Rande der Inzisivenalveolen nehmen, dann in der Wand der Caninusalveole verlaufen, um zu den Alveolarkörben der Prämolaren und schliesslich der Molaren zu gelangen. Wieder ist die Feststellung zu machen, dass sie im Gebiet der Inzisiven im

Limbus alveolaris liegen, im Gebiet der Prämolaren sich nahe dem Alveolargrund finden. Minder ausgeprägt ist das für ihre Fortsetzung im Gebiet der Molarenalveolen, wo sie sich eigentlich der ganzen Alveolarwand entsprechend verfolgen lassen. Wir sehen einen Teil der Linien in den Flügelfortsatz ausstrahlen; teils gelangen sie dabei zu dessen Wurzel, verlaufen also aufsteigend, teils in die Laminae und den Unterrand der Fossa pterygoidea; ja sogar im Hamulus sind feinste Linien zu sehen, die vielleicht (?) Fortsetzungen unserer alveolären Längszüge vorstellen. Der andere Teil, in einzelnen festen Strängen zu erkennen, zieht der Sinusrückwand entlang aufwärts, um entweder in den Augenhöhlenboden (Sinusdach) umzubiegen, oder aber um sich, hinter dem Foramen sphenopalatinum durch, jenen eben erwähnten Zügen zur Wurzel des Pterygoidfortsatzes anzuschliessen. Sie verlaufen in unseren früher beschriebenen Pterygoidpfeiler. So unterscheiden wir denn durch die Aufteilung des Stranges der alveolären Längstrajektorien bei dieser Seitenansicht ein System von Pterygoidtrajektorien von einem solchen der hinteren Maxillarkörperwandverstärkungen. Dass sie beide auch verschiedenen Ursprungs sind, lässt sich hier nicht im einzelnen erkennen, wird aber späterhin beim 2. Objekt (Fig. 9), also der Gaumenplattenansicht von oben, nachzuweisen sein.

Das Gaumendach selber ist beim 3. Objekt (Fig. 8 und 8a) intakt erhalten geblieben und sein Röntgenbild lässt uns ein ganzes Netzwerk trajektorieller Strukturen erkennen. Vor allem fallen Längstrajektorien ins Auge, die vom Anfang der Gaumendachschnittlinie an zu beobachten sind und das ganze Gaumendach durchziehen. Diese palatinalen Längstrajektorien, die teilweise wohl in der Gaumennaht verlaufen, deren hinterster Teil aber die Vermutung aufkommen lässt, dass von ihnen aus Verstärkungsbahnen in den Pterygoidpfeiler ge-

langen, sind durchkreuzt und gegeneinander verstrebt durch zahlreiche palatinale Quertrajektorien. Letztere lassen an einzelnen Stellen mehr oder weniger deutlich Verbindungen mit den Alveolarkörben erkennen, welche Beobachtung besonders für das Gebiet der beiden ersten Molaren zutrifft. Meiner Ansicht nach handelt es sich hier teilweise wenigstens um trajektorielle Strukturen in den Querwülsten des Antrumbodens, von denen aus sich somit Trajektorien in das Gebiet des harten Gaumens fortpflanzen würden. Vollständige Klarheit über diese Verhältnisse kann uns nur eine

Fig 9.

Gaumen mit Jochbogeneinstrahlung und Flügelfortsätzen durch Horizontalschnitt abgesägt. Gaumenfläche der Platte aufruhend.
Cebus macrocephalus (A 36 ♂ Expl.).

Durchleuchtung der Gaumenplatte senkrecht von oben geben, wie dies bei Fig. 9 der Fall sein soll.

Fig. 9. (Zum 2. Objekt, die vom Gesichtsschädel horizontal abgesägte Gaumenplatte mit den Jochbogeneinstrahlungen und Flügelfortsätzen, vgl. Fig. 4.)

Vor allem fällt uns die von Walkhoff besonders erwähnte verdichtete Knochensubstanz der einzelnen Zahnalveolen auf, seine sog. Alveolarkörbe. Deutlich erkennen wir Verstrebungen der Alveolarwände untereinander. Wo aber finden wir nun Konzentrationsstellen unserer neuen trajektoriellen Linien?

Wenden wir uns in erster Linie wieder den Alveolen des Vorderkiefers zu. Da erkennen wir vor allem eine enge Verflechtung in den Knochensepten zwischen den einzelnen Zahnwurzeln. Und zwar ist dies nicht nur zwischen den Inzisiven ausgeprägt, sondern auch zwischen I_2 und C ist eine enge Verdichtung von Linien zu beobachten, ja der faciale Rand der festen Caninusalveole zeigt eine Stelle fast kompakter Knochensubstanz. Von der Wurzelspitze des I_1 nun zieht ein dichter Strang trajektorieller Linien nach hinten über die helle Fläche der Sinusalveolarbucht hinweg nach dem ebenfalls verstärkten palatinalen Rand der Prämolarenalveolen. Hier verbindet er sich mit Zuzügen, die der Caninusalveole entstammen. Wir verfolgen ohne Unterbrechung den Zusammenhang dieser verdichteten Linien über den palatinalen Wurzeln der Postcaninen. Es handelt sich hier meiner Meinung nach um die trajektoriellen Strukturen des inneren Verbindungswulstes im Antrumboden. Von ihm aus lassen sich, die Gaumenaussackungen des Sinus überbrückend, direkte Züge beobachten, die sich erst hinter dem letzten Molaren eng zusammenschliessen. Sie verlaufen zum grösseren Teil in den Flügelfortsatz hinein (Pterygoidpfeiler!), zum Teil biegen sie (weit hinter der Zahnreihe) in die hintere Wand des Maxillarkörpers ein.

Ein ähnlicher Zusammenschluss trajektorieller Linien zeigt sich am Alveolarrand der buccalen Wurzelalveolen der Postcanini. Es wäre dies ein dem äusseren Verbindungswulst entsprechendes trajektorielles System. Dass dieser Strang nach vorn zu mit der facialen Sinuswand (lateraler vorderer Nebenpfeiler), also der vorderen Wand des Einstrahlungskegels in engster Verbindung stehen muss, liegt auf der Hand. Betrachten wir die Verhältnisse des rückwärtsliegenden Teiles, so finde ich zwischen dem einwärtsliegenden Schatten, welcher der Schnittlinie der facialen Sinuswand ent-

spricht, und dem Schatten, der der grössten Ausbuchtung der Sinusaussenwand zugehört, ein feines Netzwerk langgestreckter Linienzüge. Es sind aber nur weniger dichte Linien als jene im vorderen Teil der facialen Oberkieferwand.

Zum Schluss folge noch eine kurze Schilderung eines strukturellen Bausystems, das uns die Röntgenaufnahme dieses Objektes im Gaumendach selber zeigt. Es handelt sich hier um querverlaufende Linien im Gaumendach, welche die beiderseitigen Alveolarfortsätze untereinander verbinden. Diese Züge nehmen ihren Ursprung aus den palatinalen Teilen der Zahnalveolen, durchkreuzen transversal das Gaumendach, um in der Mitte, sich dichter verflechtend, mit denen der anderen Seite zusammen zu treffen. Es bildet sich auf diese Weise zwischen den beiden Alveolarrändern des Gaumens ein neues Verstärkungssystem: ein trajektorielles alveolo-palatinales System. Gerade bei der Tierart Cebus ist sein Verlauf weniger übersichtlich, weshalb ich es eingehender bei dem entsprechenden Mycetesobjekt (Fig. 15, 15a) besprechen will. Der Verlauf der transversalen Gaumentrajektorien — sie entsprechen teilweise sicher Fortsetzungen der trajektoriellen Strukturen der Querwülste — ist nämlich in unserem Bilde (Fig. 9) an vielen Stellen unterbrochen, nämlich dort, wo in der Gaumenplatte Ausbuchtungen des Sinus liegen. Es handelt sich hier um die deutlich erkennbaren Gaumenaussackungen der Gaumenbucht, die bei Cebus besonders reichlich zu finden sind. Es ist möglich, dass das Fehlen trajektorieller Linien an diesen Stellen nur ein scheinbares ist, dass vielleicht das Einschalten einer Luftschicht zwischen die zwei dünnen Knochenplatten, die Boden und Dach der Aussackungen bilden, auf die durchfallenden Röntgenstrahlen eine Ablenkung ausübt, wodurch eventuell vorhandene Strukturen sich nicht manifestieren können. Bestimmteres kann ich aber nicht sagen.

Überblicken wir nochmals ganz kurz die bisher gewonnenen Resultate, so steht folgendes fest: 1. Die äusserlich erkennbaren Cristen und Wülste des Oberkiefers fallen zusammen mit trajektoriellen Liniensystemen in der Knochensubstanz. 2. Diese trajektoriellen Züge führen grösstenteils auf die sogen. Alveolarkörbe Walkhoffs zurück, resp. gehen von ihnen aus.

Die gefundenen trajektoriellen Linien selber lassen eine genaue Einordnung innehalten. Vor allem unterscheiden wir Höhen-, Längs- und Quertrajektorien.

Zu ersteren gehören:

A. Das trajektorielle System der Crista canina.

Wir unterscheiden

1. ein maxillo-nasales Trajektorium,
2. ein vorderes maxillo-orbitales Trajektorium.

B. Das trajektorielle System der Jochbogeneinstrahlung (faciale Oberkieferwand):

1. hinteres maxillo-orbitales Trajektorium.

Die eigentlichen Jochbogentrajektorien:

2. jugo-alveoläres Trajektorium,
3. unteres jugo-orbitales Trajektorium (mit trajektoriellem Verbindungszug),
4. oberes jugo-orbitales Trajektorium.

Von Längstrajektorien fanden wir:

A. die alveolären Längstrajektorien

1. des inneren Verbindungswulstes (sie gelangen in den Pterygoidpfeiler),
2. des äusseren Verbindungswulstes (gelangen in die hintere Maxillarkörperwand);

B. die Längstrajektorien des Gaumendaches.

Von Quertrajektorien fanden wir das transversal verlaufende Gaumendachsystem:

ein alveolo-palatinales Trajektorium.

Im weiteren Verlauf meiner Untersuchungen handelte es sich nun darum festzustellen, ob die trajektoriellen Verhältnisse, die wir bei Cebus fanden, als allgemein gültige zu betrachten sind, oder ob andere Affenarten, deren Zahn- und Schädelbau von Cebus sich unterscheidet, uns andere Befunde zu erkennen geben. Zu diesem Zweck bespreche ich Durchleuchtungsbilder auch noch von Mycetes (Brüllaffe) und Lagothrix (Wollaffe), deren Schilderung hier nun folgen mag. Ich glaube nach der eingehenden Betrachtung der Cebusobjekte mich kürzer fassen zu dürfen, indem ich im folgenden hauptsächlich auf die ins Auge fallenden Unterschiedlichkeiten hinweise.

2. Die Befunde bei Mycetes auratus.

In dem Schädel dieser Tierart haben wir einen ganz anderen Typus vor uns als bei dem oben besprochenen Cebus. Die Schnauze ist langgestreckt und zeigt eine lang entfaltete Zahnreihe. Die stark gebogenen Eckzähne ragen weniger weit vor als bei Cebus, sind aber schärfer zugespitzt, wie denn überhaupt spitzere Zahnformen Mycetes eigen sind und den stumpfhöckerigen bei Cebus gegenüberstehen. Der sehr kräftige Jochbogen pflanzt sich, gleichzeitig von hinten und lateral in den Oberkiefer ein. Sein Einpflanzungskegel ist gedehnter als bei Cebus und reicht von M_1 bis M_3. Im Gegensatz zu Cebus ist die Molarenreihe nicht von vorne nach hinten an Grösse abnehmend gestaltet, sondern M_2 ist der kräftigste Zahn, M_1 nur wenig kleiner und M_3 etwas mehr reduziert. Dem entspricht die Lage des Jochbogeneinpflanzungskegels, dessen Centrum auf M_2 zuläuft. Im Vergleich mit Cebus fällt aber nicht nur diese Tatsache auf, sondern noch viel mehr findet die

lange Schnauze des Gesichtsskelets unsere Beachtung. Auch möchte ich nicht unerwähnt lassen, dass am Mycetesschädel alle Cristen und Wülste viel kräftiger ausgeprägt sind als bei Cebus. Besonders betrifft das den vorderen Schnauzenteil. Damit können wir von vornherein eine starke Ausprägung trajektorieller Bahnen erwarten.

Was bei der Betrachtung des Schädels von lateral die einzelnen Systeme der Leisten anbetrifft, so wäre deren Schilderung im Grundsätzlichen nur eine Wiederholung der bei Cebus

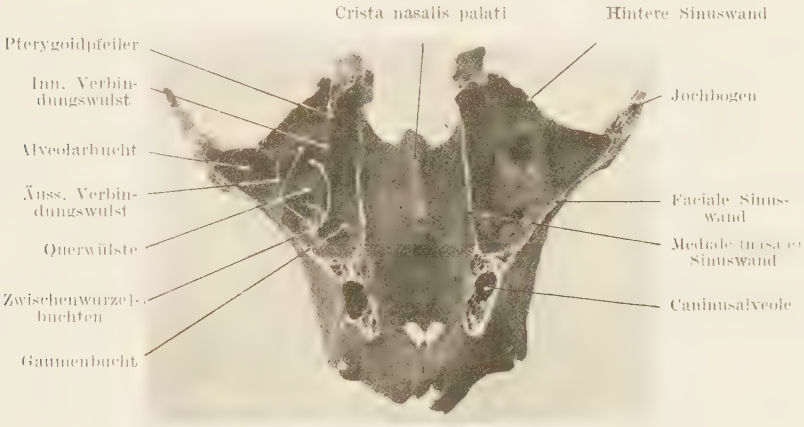

Fig. 10.
Gaumen und Kieferhöhlenboden von oben.
Mycetes auratus. ¾ nat. Gr.

gefundenen Verhältnisse. Ich mache nur nochmals auf die grössere Breite des Einstrahlungskegels des Jochbogens, auf die stärkeren Juga alveolaria und die viel massivere Gestaltung des den vorderen Zähnen entsprechenden Maxillaabschnittes aufmerksam.

Ein wesentlich anderes Bild als bei Cebus bietet uns die Ansicht des Sinusinnern, sowohl was seine faciale Innenwand, als auch seinen Boden anbelangt. Entfernen wir das Gaumendach und die Nasenscheidewand (entsprechend dem 3. Cebus-

objekt), so erkennen wir vor allem, dass der Oberkieferwand entlang kein Hauptpfeiler emporsteigt (Textfig. 10). Das System der vorderen Nebenpfeiler ist ganz schwach ausgeprägt, dafür finden wir eine sehr dichte einheitliche Spongiosa im Vorderkiefer, die nicht nur die Inzisiven- und Eckzahnalveolen ohne ausgedehntere Knochenaussparungen verbindet, sondern in ihr sind sogar sämtliche Prämolarenwurzeln eingebettet. Der Sinus dehnt sich also weniger weit nach vorne aus als bei Cebus, und die ganze vor ihm gelegene Knochenpartie enthält bei starker Ausbildung reichliche Spongiosa. Wir werden in ihr zahlreiche trajektorielle Züge finden, die zu dem sog. System der Crista canina gerechnet werden müssen.

Bedeutend stärker ausgeprägt als die Leistenbildungen der Sinusvorderwand sind aber diejenigen seiner Rückwand. Hier handelt es sich um eine Gruppe von hinteren Nebenpfeilern. Meistens steigen zwei hintere Nebenpfeiler an der hinteren Maxillarkörperwand, dabei in den Sinus gratartig vorspringend, aufwärts. Sie entspringen wie bei Cebus dem inneren Verbindungswulst, zum kleineren Teil auch dem äusseren und stehen mit dem hinteren Teil des Augenhöhlenbodens (Sinusdach) in Verbindung. Dabei sendet der innere Verbindungswulst eine besonders starke Knochenleiste aus, von der nur ein Teil sich in den hinteren Augenhöhlenboden verfolgen lässt, ein stärkerer aber zur Wurzel des Processus pterygoideus gelangt. Wir können also wiederum von einem Pterygoidpfeiler sprechen.

Die Verbindungs- und Querwülste selber überblicken wir am besten im vom Gesichtsskelet abgetrennten Sinusboden (Textfig. 10; in der Röntgendurchleuchtung Fig. 15 und 15a). Hier begegnen uns kräftigere Wulstbildungen als bei Cebus; ihr Verlauf und ihre Aufteilung aber ist bedeutend weniger kompliziert wie dort. Ich unterscheide einen inneren von einem äusseren Verbindungswulst und zwischen beiden Querwülste.

Entsprechend der vereinfachten Linienführung der Leistenbildungen gegenüber Cebus verhalten sich die Ausbuchtungen des Sinus ebenfalls einfacher. An seiner Haupteinteilung in Alveolar- und Gaumenbucht, sowie Zwischenwurzelbuchten halten wir fest, beobachten aber, dass die Aussackungen im allgemeinen und speziell auch die Gaumenaussackungen weniger entwickelt sind (Fig. 15). Die Sinushöhle ist einheitlicher und grösser, namentlich ausgedehnt ist sie gegen die seitliche Maxillarwand, wo sie wie

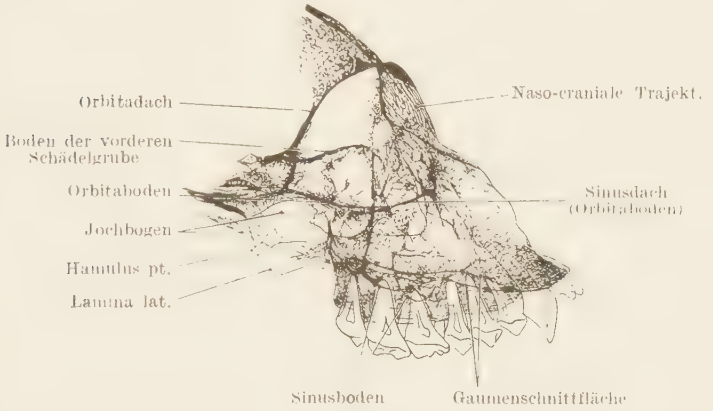

Fig. 11.
Halbierter Schädel. Linke Schädelhälfte. Schnittfläche auf Platte aufruhend. Mycetes auratus Nr. 70 $\frac{1}{1}$.

ein tiefes Tal sich weit in den Jochbogeneinpflanzungskegel ausdehnt. Damit fällt die Unterscheidung einer vorderen und hinteren Abteilung der Alveolarbucht dahin. In den Gaumenfortsatz der Maxilla tritt auch nur eine, und zwar erheblich kleinere Gaumenaussackung der Kieferhöhle auf jeder Seite ein.

Unterwerfen wir nun die Röntgenbilder unserer Betrachtung.

Fig. 11. (Mycetes auratus; Totalaufnahme der intakten linken Schädelhälfte.)

Rückblickend auf die bei den Untersuchungen von Cebus Fig. 5 u. 8 gewonnenen Resultate, wende ich mich gleich dem trajektoriellen System der Crista canina zu. Wie nach der Betrachtung der äusseren Schädelkonturen zu erwarten, sind diese trajektoriellen Strukturen sehr deutlich ausgeprägt. Der Ursprung der Linien entspricht dem bei Cebus beobachteten: Es handelt sich um zwei Hauptgruppen, deren vordere von den Alveolarkörben der Inzisiven und des Caninus trajektorielle Züge in sich vereinigt und das maxillo-nasale Trajektorium repräsentiert. Es ist kräftig ausgebildet. Dabei möchte ich auf seinen Endverlauf speziell hinweisen, indem im Gebiet der Nasenwurzel naso-craniale Trajektorien besonders stark zutage treten. Wenig hinter ihm zurück tritt das maxillo-orbitale Trajektorium, das zum grössten Teil seine Züge aus den Alveolen der Prämolaren, zum kleineren aus dem Gebiet der Eckzahnalveole empfängt. Bei dieser Gelegenheit weise ich auf die Lage der Prämolarenwurzeln hin, ein Verhalten, wie wir es späterhin bei Lagothrix (Fig. 16 und 17) noch markanter wiederfinden werden. Es handelt sich dabei darum, dass das enge Zusammengehören der Prämolaren zum Gebiet der Crista canina seinen besonderen Ausdruck dadurch findet, dass deren Wurzeln, im Gegensatz zu den Molarenwurzeln, eine deutliche konzentrische Zuneigung nach der Gegend der Wurzelspitze des Eckzahnes hin erkennen lassen. Auch bei Fig. 12 ist die Hauptrichtung der Prämolarenwurzeln entsprechend, nur sind dort die Wurzelspitzen selber, und zwar nach hinten, abgebogen.

Dem breiten Einstrahlungskegel des Jochbogens entsprechend, zeigt uns dieses Gebiet, dass von beiden ersten Molaren, besonders aber vom M_2, dichte Linienzüge nach dem Jochbogen selber gelangen. Teilweise können wir sie trotz Überdeckungen in ihn hinein verfolgen. Es sind dies jugo-alveoläre Trajektorien. Sie werden in Fig. 12 noch

deutlicher zu sehen sein. Weniger überdeckt und daher etwas deutlicher in ihrem ganzen Verlauf zutage tretend zeigen sich uns die oberen und unteren jugo-orbitalen Trajektorien, die das grosse Foramen zygomatico-orbitale zwischen sich einschliessen. Ihr Einstrahlen in den Jochbogen hinein lässt sich auf der Originalplatte wenn auch blass, so doch klar überblicken.

Ein hinteres maxillo-orbitales Trajektorium, wie wir es bei Cebus gefunden und wie es dem Verbindungssystem entsprechen würde, kann ich an diesem Objekt nicht erkennen.

Die trajektoriellen Strukturen des Gaumendaches, wie die alveolären Längstrajektorien sind trotz dichter Überdeckungslinien in ihrem Verlauf zu verfolgen. Eine eingehendere Betrachtung derselben möchte ich mir aber doch für die weniger überdeckten Aufnahmen Fig. 12 u. 14 vorbehalten.

Fig. 12 u. 12a. (Um diese eben erwähnten Überdeckungen auszuschalten, sind die Nasenscheidewand und der knöcherne Gaumen abgetragen. Der Jochbogen ist entfernt, seine Einpflanzungsstelle aber mitsamt der ganzen Aussenwand der Kieferhöhle erhalten.)

Vorliegendes Knochenpräparat gibt uns in seiner Durchleuchtung ein äusserst übersichtliches Bild über den Verlauf unserer trajektoriellen Systeme. Wesentlich Neues ergibt sich für das Gebiet der Crista canina nicht; ich mache aber hier nochmals aufmerksam auf den auffallend übersichtlichen Verlauf des maxillo-nasalen Trajektoriums, das sich in der Nasenwurzel in den naso-cranialen Trajektorien nach der Stirnregion fortsetzt, und des vorderen maxillo-orbitalen Trajektoriums. Auch hier fassen wir die Linien beider zusammen auf als das trajektorielle System der Crista canina.

Nach hinten, über dem Septum zwischen M_2 und M_3, zeigt sich eine Zweiteilung der hellen Bildfläche, welche selbst der facialen Antrumwand entspricht, durch die scharfe dunkle Linie des stehengebliebenen Stumpfes der Jochbogeneinstrahlung. Ihrem untersten Teil streben kräftige Linienzüge aus dem Alveolargebiet der Molaren zu; es sind die jugo-alveolären Trajektorien. Die stärksten kommen aus der Alveole von M_2,

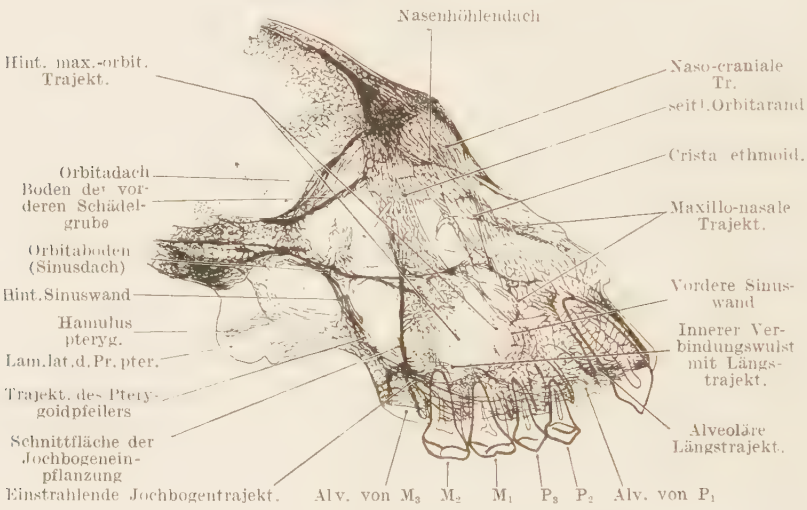

Fig. 12.

Rechte Schädelhälfte. Jochbogen abgetrennt, Einpflanzungsstelle aber erhalten. Mediale Wand des Sinus maxillaris gänzlich entfernt. Äussere Fläche der Schädelhälfte auf Platte aufruhend.

andere auch von M_1. In den oberen Teil einstrahlend, erkennen wir die Züge des oberen und des unteren jugo-orbitalen Trajektoriums. Dieses Bild lässt uns also doch wie bei Cebus wieder ein trajektorielles System des Verbindungssystems erkennen, wenn es auch minder deutlich ausgeprägt erscheint. Nun zeigen sich aber in der vor der dunklen Linie gelegenen hellen Fläche (faciale Oberkieferwand) auffallende neue Bildungen. Es sind deutlich von den buccalen Wurzelalveolen ausgehende Züge feinster dunkler Linien und

Punkte, die zum Teil in den lateralen Abschnitt des unteren, vor allem aber in den seitlichen Orbitalrand einstrahlen. Ich glaube nicht fehl zu gehen, wenn ich diese trajektoriellen Linien für Verstärkungen der Sinusaussenwand halte, die die Rolle des bei Cebus beobachteten, bei Mycetes aber fehlenden Hauptpfeilers übernehmen, und ich sehe daher in ihnen ein hinteres maxillo-orbitales Trajektorium.

Wie verhalten sich hier nun die Längstrajektorien? Vor allem lässt das Bild eine genaue Scheidung zwischen alveolären Längstrajektorien, die am Randteil der Caninusalveole beginnen und sich in ihrem weiteren Verlauf nach hinten mehr und mehr dem Grund der Postcaninenalveolen nähern, und längsverlaufenden Trajektorien über den palatinalen Molarenwurzeln zu. Letztere möchte ich aus dem Vergleich von Röntgenbild und Knochenpräparat als trajektorielle Strukturen des inneren Verbindungswulstes auffassen. Von der Alveole des M_2 an schliessen sich diese beiden Längsstränge dichter zusammen, so dass keine Scheidung mehr möglich ist. Ihr Endverlauf entspricht den bei Cebus gemachten Beobachtungen. Es handelt sich um Ausstrahlungen in die Lamina des Flügelfortsatzes und andere in die Sinusrückwand. Es sind die trajektoriellen Systeme des Pterygoidpfeilers und des lateralen hinteren Nebenpfeilers der Sinuswand.

Fig. 13. (Jochbogen von Mycetes isoliert.)

Fassen wir zunächst die Einstrahlungsstelle in die äussere Oberkieferwand ins Auge. Da zeigen sich nicht nur im Gebiet der Crista alveolo-zygomatica fächerartig in den Jochbogen einstrahlende trajektorielle Linien, sondern besonders ausgeprägt verlaufen in ihm einheitliche Züge vom seitlichen und unteren Augenhöhlenrand. Die letzteren ziehen unterhalb vom Foramen zygomatico-orbitale durch. In ihrem Verlauf verfolgen wir sie als feine dunkle Linien, die verschieden stark

ausgeprägt sind. Im grossen ganzen durchziehen sie ihn aber doch annähernd parallel zu seiner Längsrichtung. Der Ver-

Fig. 13.

dacht auf eine gewisse Torsion der einzelnen Linien umeinander taucht aber auch hier auf. Wie bei Cebus (Fig. 6 und 7) verdichten sich diese parallelen Züge in der Gegend des Tuber-

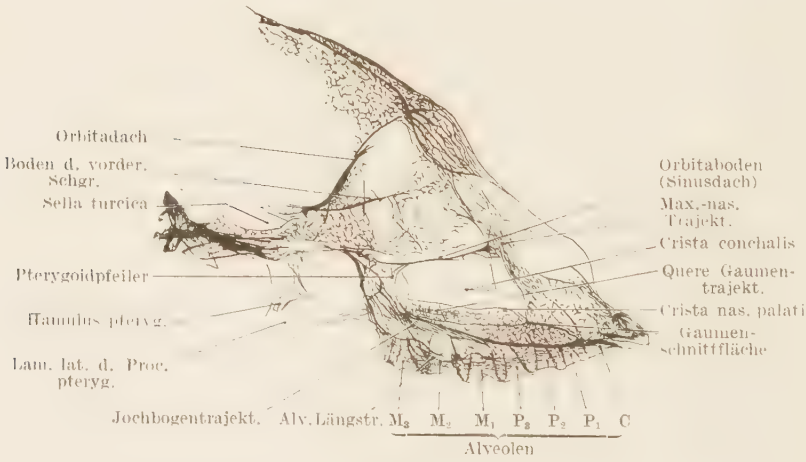

Fig. 14.

culum articulare zu einheitlicher kompakter Knochenmasse, die keine einzelnen Linien mehr erkennen lässt.

Fig. 14 und 14a. (Mycetes auratus; linke Schädelhälfte; die ganze faciale Wand des Oberkiefers mitsamt der Jochbogeneinstrahlung und der seitlichen Orbitalwand ist abgetragen. Auch sind durch den Schnitt die Alveolarwände der buccalen Wurzeln von P_1 -P_3 und M_1 und M_2 entfernt, die Caninusalveole ist angeschnitten, die Alveole von M_3 ist fast intakt. Der Gaumen ist vollständig erhalten.)

Hier handelt es sich hauptsächlich um den Verlauf der Längstrajektorien. Von den alveolären Längstrajektorien kommen dabei diesmal der Schnittführung wegen nur die Trajektorien der Innenwurzeln, d. h. des inneren Verbindungswulstes, in Betracht. Ihr Verlauf ist gleich wie bei den oben geschilderten Bildern (besonders Fig. 8 und 8a) von Cebus. Sie strahlen teils in die Lamina lateralis des Flügelfortsatzes und seine Wurzel aus, teils aber gelangen sie von ihm aus der Sinusrückwand entlang nach oben ins Sinusdach. Am Objekt können wir auch deutlich erkennen, dass der scharfkantige Pterygoidpfeiler eine schmale Leiste nach dem Sinusdach sendet. Eine auffallende Ansammlung von Linien treffen wir direkt über der Alveole von M_3, wahrscheinlich bezieht sich ein Teil derselben doch noch auf Jochbogentrajektorien, die zu den Molarenwurzeln ausstrahlen.

Sehr anschaulich zeigt sich uns die zweite Gruppe von Längstrajektorien diejenigen des Gaumendaches. Wir können, besonders im hinteren Teil der Crista nasalis palati duri, solche in Durchflechtung mit transversalen Zügen erkennen. Die Beziehung dieser Längstrajektorien zu denen des inneren Verbindungswulstes lässt die Möglichkeit einer Verbindung mit dem Pterygoidpfeiler zu.

Das reiche Linienwerk im Gaumendach zeigt uns ausser den Längstrajektorien deutlich quer zu diesen verlaufende Linien; es handelt sich um die transversalen Quertrajektorien des Gaumendaches, deren Verlauf in Fig. 15, der

Gaumendurchleuchtung von oben, noch übersichtlicher gezeigt werden soll.

Fig. 15 und 15a. (Die vom übrigen Gesichtsskelet durch Horizontalschnitt abgetrennte Gaumenplatte mit der beiderseitigen Jochbogeneinstrahlung und den Flügelfortsätzen.)

Dieses Bild stammt von dem Objekt unserer Textfigur 10 und entspricht unserem in Fig. 9 wiedergegebenen Cebusobjekt. Es zeigt grundsätzlich dieselben Strukturen wie

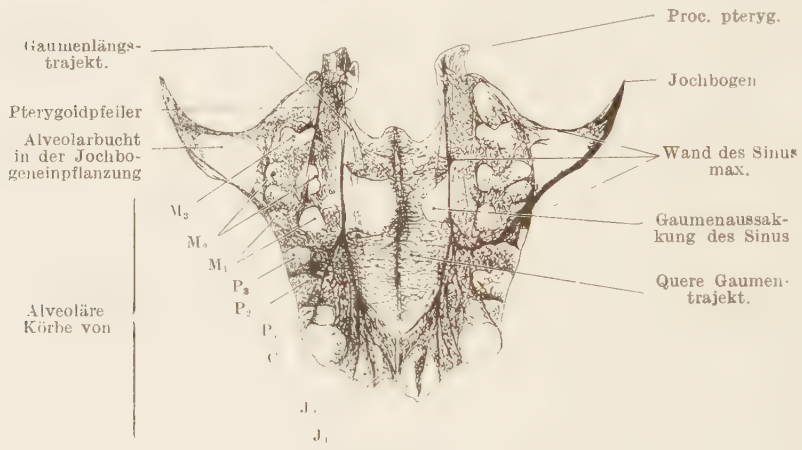

Fig. 15.

Aufnahme von oben. Gaumen auf Platte aufruhend.
Mycetes auratus. Expl. 1 ♂.

dort, nur haben wir es mit noch ausgeprägteren und daher übersichtlicheren Linien zu tun. Ausbuchtungen der Oberkieferhöhlen bestehen, wie schon erwähnt, jederseits in einer kleinen Gaumenaussackung und der tief in die Jochbogeneinpflanzung einragenden Alveolarbucht.

Ich vermag folgende Systeme trajektorieller Linien zu verfolgen: Von den Alveolarwänden der Inzisiven und dem medialen Teil der Caninusalveole sammelt sich ein ganzes Bündel zusammenstrahlender Längslinien gegen das Vorderende der

dunklen Schattenlinie, welche die mediale Sinuswand im Molarengebiet zwischen den Alveolen und dem Gaumen zu erkennen gibt. Eine dichte Verflechtung mit Zügen aus dem palatinalen Teil der Prämolarenalveolen und dem lateralen Teil der Caninusalveole verursacht dabei ein im Bilde dunkler erscheinendes Dreieck, dessen Spitze ich dort finde, wo die Sinusvorderwand in die mediale Sinuswand umbiegt. Wenn auch kein Zweifel besteht, dass der Hauptteil der geschilderten Linien in die mediale Sinuswand, und zwar oberhalb der Gaumenaussackung der Kieferhöhle Fortsetzung findet, in ihrer Knochenplatte zum Flügelfortsatz gelangend, so ist doch wahrscheinlich, dass andere Linien, ich verfolge solche namentlich von den Inzisivenalveolen her, unabhängig von der medialen Sinuswand und unter der Gaumenaussackung hindurch, im seitlichen Teil des Gaumendaches verlaufen. Diese haarfeinen Züge treffen an der Wurzel des Pterygoidfortsatzes mit der Schnittlinie der medialen Sinuswand zusammen, um mit ihr vereinigt in die Wurzel des Pterygoidfortsatzes überzugehen. Sie stellen also ein Längstrajektorium im Gaumen vor und schliessen sich lateralwärts an das innere alveoläre Längstrajektorium an, von dem gleich zu reden sein wird. Es streben nämlich der Wurzel des Pterygoidfortsatzes noch andere trajektorielle Linien zu. Die von den palatinalen Alveolenabschnitten der Frontzähne kommenden Längszüge gelangen nicht alle in die mediale Sinuswand oder die Gaumenplatte; ein recht beträchtlicher Teil verbindet sich vielmehr nach hinten zu mit den trajektoriellen Linien der palatinalen Molarenwurzeln, um auf diese Weise, als trajektorielles System des inneren Verbindungswulstes, den Flügelfortsatz zu erreichen. Ob auch Züge von Linien, welche hinter der Alveole von P_3 nach lateral kreuzen und sich dann dem Liniensystem über den buccalen Molarenwurzeln — dem trajektoriellen System des äusseren Verbindungswulstes — an-

zuschliessen scheinen, hierher gehören, kann ich nicht entscheiden. Wahrscheinlicher scheint mir, dass es sich bei diesem Schenkel um trajektorielle Linien in einem Querwulst handelt. Das eben als im äusseren Verbindungswulst verlaufend erwähnte äussere alveoläre Längstrajektorium liegt nur zum Teil in diesem, zum andern auch in dem Alveolarteil der facialen Oberkieferwand, wo ich in der Aussenwand der Prämolaren-, Caninus- und Inzisivenalveole seine zarten, längsverlaufenden Linien zu erkennen vermag.

Wie ich bei Cebus (zu Fig. 9) erwähnte, treten bei Mycetes in Zusammenhang mit geringerer Ausbildung der Gaumenaussackungen in der Röntgenaufnahme die transversalen Gaumentrajektorien, das alveolo-palatinale Trajektorium, besonders klar zutage. Wir verfolgen sie als quer durch das ganze Gaumendach ziehende Linien, die sich in der Medianen mit denen der anderen Seite verflechten, wodurch eine Verdichtung zustande kommt. Aber nicht allein diese zusammenstossenden, transversalen Gaumendachtrajektorien bilden die Verdunkelung in der medianen Nahtzone, vielmehr kommen auch zarte Längslinien hinzu, die oben (Fig. 14) geschilderten trajektoriellen Linien der Crista nasalis palati. Die transversalen Linien finde ich besonders kräftig im Gebiet der Molaren, d. h. dem Kieferabschnitt, welchem aussen die Jochbogeneinstrahlung entspricht.

3. Die Befunde bei Lagothrix cana.

Zu einem letzten kurzen Vergleich ziehe ich noch die Röntgenaufnahmen einer dritten Tierart heran, Lagothrix cana (Wollaffe). Mit diesem Beispiel sei mir auch ein Hinweis auf die trajektoriellen Linien zu verschiedenen Entwickelungsstadien gestattet, indem ich das Röntgenbild eines jugendlichen Schädels beigebe. Um auch einen Vergleich mit den von Walkhoff bei den Menschenaffen ausführlich besprochenen tra-

jektoriellen Bahnen des Unterkiefers zu ermöglichen, bringe ich die Aufnahmen der beiden Kiefer in ihrer richtigen Artikulationsstellung.

Lagothrix gehört zu den Affenarten, welche eine nur geringe Schnauzenentfaltung in Verbindung mit einer relativ gross entwickelten Gehirnkapsel aufweisen. Der nach lateral gewölbte Jochbogen ist platt gedrückt wie bei Mycetes, aber graciler als dort. Er dringt ohne eigentliche Knickung von lateral in den Oberkiefer ein. Die Molarenreihe zeigt in bezug auf die relative Grösse der einzelnen Zähne etwas geringere Unterschiedlichkeiten als Mycetes, aber viel geringere als Cebus. Der Einpflanzungskegel des Jochbogens ist niedriger als beim Brüllaffen, seine Basis aber breiter. Er empfängt Alveolarjuga vom ersten und besonders vom zweiten Molaren, andeutungsweise ist auch ein solches zu M_3 zu verfolgen. Das Foramen zygomatico-orbitale ist wie bei Mycetes sehr gross und um es gruppieren sich die nach dem Jochbogen und Orbitalring auslaufenden massiven Knochenwülste unserer Pfeilersysteme. Aber nicht nur dieses hintere Pfeilergebiet zeigt kräftige Bauart, auch über dem starken, gebogenen Eckzahn ist als wulstige Leiste die Crista canina sehr deutlich ausgeprägt.

Vergleichen wir nun die Röntgenbilder mit unseren bisher gewonnenen Resultaten.

Fig. 16–19: Komplette linke Schädelhälften; Totalaufnahmen mitsamt dem Unterkiefer.

Fig. 16: Erwachsenes Exemplar; bei der Aufnahme ruht die Medianschnittebene auf der photographischen Platte auf.

Fig. 17 und 17a: Dasselbe Objekt wie Fig. 16; nur liegt der Jochbogen auf der Platte auf.

Fig. 18: Jugendliches Exemplar; die Medianschnittebene liegt auf der Platte.

Fig. 19 und 19a: Dasselbe Objekt wie Fig. 18; nur liegt der Jochbogen auf der Platte auf.

Dass wir bei diesen Aufnahmen, je nachdem ob die Schädelmedianebene auf der Platte aufruht, oder ob dies für die seitliche Fläche des Schädels der Fall ist, die Strukturen einzelner Züge recht verschieden deutlich zu erkennen vermögen, liegt auf der Hand. Je weiter ja ein Gebilde von der Platte entfernt, je mehr einzelne Knochenplatten und Leisten übereinander fallen, um so minder deutlich müssen sich die trajektoriellen Strukturen jener Teile ausprägen. Daraus resultiert die Tatsache, dass, obgleich es sich um ein und dasselbe Objekt handelt, manche Strukturgebilde, manche Trajektorien sich jeweils nur in der einen von beiden Aufnahmen vorfinden. Erst auf dem Wege der synthetischen Betrachtung ist hier Klarheit über die Gesamterscheinung zu gewinnen.

Wenden wir uns vorerst den Bildern vom ausgewachsenen Tier zu (Fig. 16, 17). Vor allem fällt hier sowohl im Ober- wie auch im Unterkiefer die eigenartige Stellung der Zahnwurzeln ins Auge. Ich habe auf Entsprechendes schon bei Mycetes (Fig. 11) hingewiesen, aber hier finden wir das ganze Verhalten noch viel deutlicher ausgeprägt. Es neigen sich nämlich die Wurzeln sämtlicher Prämolaren der Eckzahnwurzel zu, während die Molarenwurzeln alle mehr oder weniger eine Neigung nach hinten erkennen lassen. Ich sehe darin einen sehr deutlichen Hinweis auf Beziehungen zwischen den Zähnen und trajektoriellen Liniensystemen.

Wir haben früher von einem trajektoriellen Hauptsystem der Crista canina und einem solchen der Jochbogeneinpflanzung gesprochen. Hier wird es nun sehr deutlich, dass die aufsteigenden Trajektorien der Prämolaren zu ersterem, die der Molaren zu letzterem streben. Das System der Crista canina besteht wieder aus einem Trajectorium maxillo-nasale und maxillo-orbitale anterius. Das letztere ist hier recht kräftig ausgeprägt. Von den Alveolarkörben der Molarwurzeln gehen hintere maxillo-orbi-

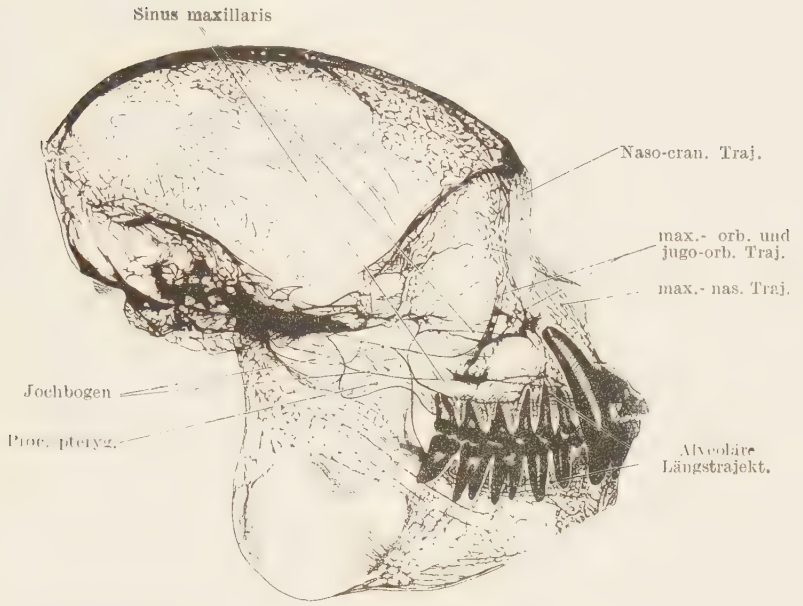

Fig. 16.
Linke Schädelhälfte mit Unterkiefer. Medianschnitt auf Platte aufruhend. Lagothrix cana (Nr. 344) ♂.

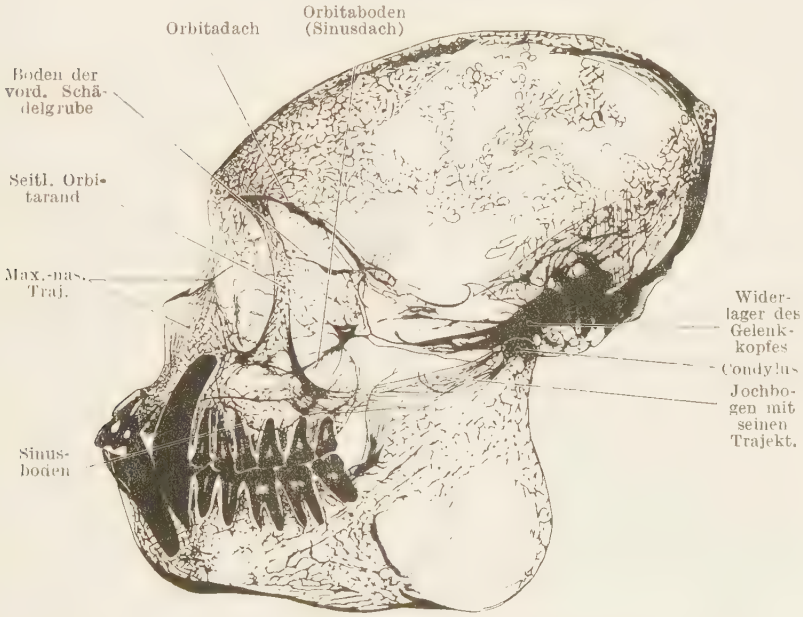

Fig. 17.
Linke Schädelhälfte mit Unterkiefer. Aussenfläche der Platte aufruhend. Lagothrix cana (Nr. 344) ♂.

tale Trajektorien aus, während andere vom Jochbogen kommend jugo-alveoläre Linien vorstellen. Sehr kräftig sind ein vorderes und hinteres jugo-orbitales Trajektorium. Im freien Jochbogen sind die annähernd horizontalen Linien seiner trajektoriellen Strukturen recht deutlich zu sehen.

Von diesen Hauptbahnen unabhängig verlaufen die trajektoriellen Systeme der hinteren Maxillarkörperwand und des Pterygoidpfeilers.

Die alveolären Längstrajektorien kommen der starken Überdehnung wegen nicht so deutlich zum Ausdruck, wie das in früheren Aufnahmen teilweise der Fall war. Jedoch kann ihr Vorkommen auch nachgewiesen werden.

Zum weiteren Vergleich mit dem ausgebildeten Schädel gebe ich in den Figuren 18 und 19 nun auch Röntgenogramme eines Schädels in einem Jugendstadium des Gebisses. Das betreffende Exemplar ist noch im Besitz der Milchzähne, mit Ausnahme der Inzisiven, die schon gewechselt sind, dazu sind aber schon die beiden ersten Dauermolaren durchgebrochen. In der Knochensubstanz der Kiefer zeigen sich uns weitere in Entwickelung begriffene Dauerzähne, und zwar sind dies C, $P_{1\ 3}$ und M_3.

Ich verfolge in erster Linie die trajektoriellen Strukturen des Vorderkiefers. Es lassen sich in beiden Bildern die Trajektorien des maxillo-nasalen Systems erkennen, dessen Ausläufer wir auch in diesem kindlichen Schädel in den naso-cranialen Trajektorien der Nasenwurzel finden. Das vordere maxillo-orbitale Trajektorium der Milchzähne ist wegen der Schatten der Zahnanlagen der Dauerzähne nur in seinem Endverlauf zu überblicken.

Auch das Jochbogengebiet dieses jugendlichen Schädels lässt dieselbe Einteilung trajektorieller Linien zu, wie wir sie bisher für die Schädel ausgewachsener Neuweltaffen innehalten konnten. Es ist ein deutliches jugo-alveoläres System

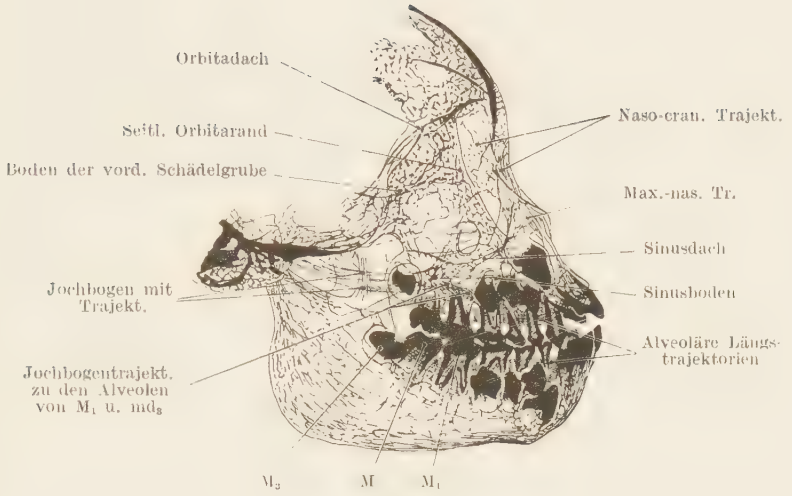

Fig. 18.

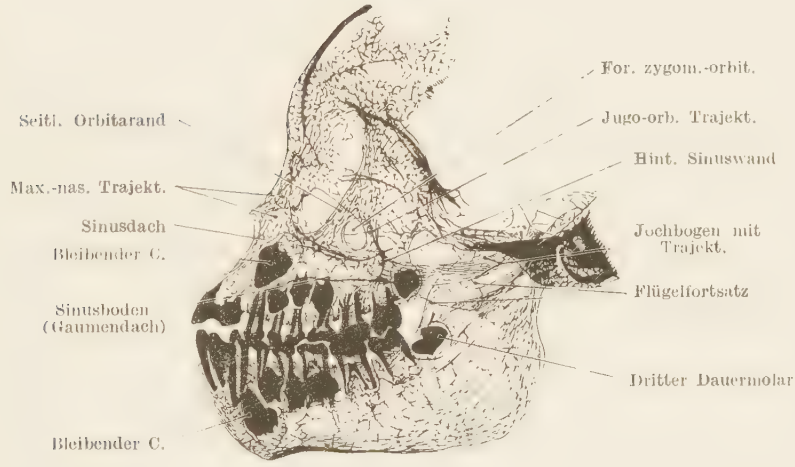

Fig. 19.
Lagothrix cana vor dem Zahnwechsel.

zu beobachten, das seine Trajektorien besonders von M_1, daneben auch dem M_2, der noch weit offene Wurzeln erkennen lässt, empfängt. Zwischen M_1 und dem nachdrängenden P_3 lässt sich auch noch eine deutlich mit dem Jochbogen in Verbindung stehende Linie von md_3 her verfolgen. Das im erhaltenen Jochbogen annähernd parallel verlaufende Liniensystem teilt sich nach der Orbita hin in unser oberes und unteres jugo-orbitales Trajektorium, deren weiterer Verlauf unseren bisherigen Resultaten entspricht.

Alveoläre Längstrajektorien zeigen sich ausserordentlich klar im Alveolengebiet der Milchmolaren, während die Wurzelsepten der bleibenden Molaren (etwas weniger ausgeprägt) entsprechende Strukturen aufweisen. Das ganze Gebiet der Sinusrückwand endlich ist durch den sich bildenden M_3 überdeckt.

Für die beiden durchgebrochenen Dauermolaren sind Trajektorien (sowohl jugo-alveoläre als hintere maxillo-orbitale Linien) sehr deutlich nachweisbar. Auch zu den Inzisiven und den noch stehenden Milchzähnen ist unverkennbar ein trajektorielles Gerüst zu verfolgen. Aber durch die Anlagen der noch in den Zahnsäckchen ruhenden vorderen Dauerzähne sind die meisten der trajektoriellen Linienzüge mehr oder minder überdeckt. Diese Überlagerung verschiedener Teile übereinander macht mir auch die Entscheidung der Frage unmöglich, ob zu den erwähnten Zahnanlagen auch schon Trajektorien hinlaufen. Für den sich bildenden Dauercaninus halte ich die Möglichkeit des Vorkommens von Zügen nach dem seitlichen Nasenrücken vorläufig nicht für ausgeschlossen, wie mir auch gewisse Linien des vorderen maxillo-orbitalen Trajektoriums mit den sich bildenden Prämolaren in Beziehung zu stehen scheinen.

Dass die Jochbogeneinpflanzung durch die schon durchgebrochenen beiden ersten Dauermolaren beeinflusst worden

ist, haben wir oben erwähnt. Es findet dies besonders in Fig. 19 seinen Ausdruck. Damit kommen wir zu einer neuen Illustration der ontogenetischen Verschiebung der Jochbogeneinpflanzung nach hinten, die uns früher (Textfig. 2 und 3) beschäftigt hatte.

In der nachfolgenden Zusammenfassung meiner Resultate muss ich auch auf die trajektoriellen Strukturen im Unterkiefer zu sprechen kommen. Ich halte es daher für ratsam, hier einen kurzen Überblick über ihre Hauptsysteme bei den Westaffen zu geben. Den Unterkiefer des Menschen und der Anthropomorphen hat Professor Walkhoff eingehenden Studien unterworfen; dabei macht er darauf aufmerksam, dass wir bei niederen Affenarten entsprechende Verhältnisse finden. Diese Beobachtung wird durch vorliegende Fig. 16—19 im grossen ganzen bestätigt. Wir erkennen folgende Hauptsysteme:

Durch die Alveolen sämtlicher Zähne des Unterkiefers verlaufen alveoläre Längstrajektorien, die hauptsächlich nach dem Gelenkkopf, zum Teil aber nach dem Processus coronoides weiter zu verfolgen sind. An sie schliessen sich vom Gelenkkopf ausgehende, das ganze Corpusgebiet mehr oder weniger ausfüllende (Fig. 18 und 19) trajektorielle Züge, die sich zur Symphysenregion vorwärts verfolgen lassen. Im Kieferast divergieren hintere Züge etwas auseinander und die hintersten verlaufen direkt gegen den Kieferwinkel, nach vorne davon aber nähern sie sich gegenseitig wieder. Alle diese Züge fasse ich als ein Trajectorium basale auf, an dem sich wohl eine obere und eine untere Abteilung unterscheiden lässt, das ich aber trotzdem vorläufig noch nicht weiter zerlegen möchte, trotzdem Walkhoff bei den Anthropomorphen eine solche Gliederung in Einzeltrajektorien durchgeführt hat. Als Trajectorium basale fasst er nur unsere obere Abteilung des gleichbenannten Zuges auf und neben einem Trajectorium

marginale (unsere untere Abteilung des Traject. basale) unterscheidet er auch ein Trajectorium posticum mit Zügen zum Angulusgebiet. Andeutungen für diese Zerlegung fehlen auch bei den von mir untersuchten Affen nicht, aber scharfe Sonderungen kann ich nicht feststellen. Mein alveoläres Längstrajektorium im Unterkiefer entspricht Walkhoffs Trajectorium dentale, die Züge vom Processus coronoides nennt er Trajectorium praeceps. Dieses letztere vermag ich ebenfalls festzustellen (Fig. 17, 17 a, 20). Es ist zweifellos bedingt durch die Zugwirkung des Musculus temporalis.

Die Stellungsweise der Molarenwurzeln im Unterkiefer ist beim ausgewachsenen Tier ebenso auffallend wie jene im Oberkiefer; wiederum erkennen wir eine Neigung der Molarenwurzeln nach hinten, während die Wurzeln der Prämolaren sich der Eckzahnwurzel zuneigen. Von den Wurzelspitzen der Molaren aus lassen sich trajektorielle Linien verfolgen, die beim ausgewachsenen Tier convergent (Fig. 16, 17) nach der Stelle der Incisura praeangularis zu verlaufen, in deren verdichteter Knochensubstanz sie unter spitzen Winkeln sich vereinigen. Beim jugendlichen Exemplar dagegen ziehen sie nahezu parallel (Fig. 18, 19) nach dem ganzen Kieferrandteil, der unter dem Molarengebiet liegt. Walkhoff beschreibt bei Anthropomorphen trajektorielle Strukturen, die in ähnlicher Weise beginnen, aber im Gegensatz zu unserem spitzwinkligen Zusammenschliessen als ein fächerförmiges Strahlenbündel (also divergent!) in das Angulusgebiet ausstrahlen (Trajectorium radiatum). Solche abirrende, nicht gegen die Incisura praeangularis laufende Linien finde ich bei Lagothrix nur für M_3, und zwar nur in geringer Zahl. Die Hauptlinien aus dem Alveolarkorb dieses Zahnes stehen mit der Incisura praeangularis in Verbindung.

Ferner finde ich trajektorielle Linien in reicherer Anzahl im vorderen Abschnitt des Unterkiefers. Während hier das

alveoläre Längstrajektorium fächerartig ausstrahlend in das ganze Symphysengebiet übergeht und in ihm senkrecht zur Oberfläche endet, ziehen andere Linien mehr in der Richtung von oben nach unten, kreuzen also die vorigen. Beim jugendlichen Tier schliessen sie sich in ihrer Richtung ziemlich genau an jene der vordersten Züge an, die von dem Wurzelspitzengebiet der Milchmolaren in den Kieferkörper absteigen. Sie sind nur im Gebiet der Schneidezähne und des Eckzahnes gegen das Unterende der Kiefersymphyse etwas convergent; beim erwachsenen Tier verhalten sie sich anderes und hier ist diese Convergenz gegen eben dieselbe Stelle, wo reichlich Compacta am Kieferrand auftritt, ausgeprägter. Deutlich laufen hier Linien von den Alveolen der Inzisiven, des Eckzahns und der Prämolaren zusammen.

Ergebnisse.

Die im vorigen mitgeteilten Untersuchungen zeigen, in wie mir scheint einwandfreier Weise, zunächst die eine und wichtige Tatsache, dass im Oberkieferapparat der Neuweltaffen trajektorielle Strukturen in reicher Zahl vorkommen. Von solchen haben für die Anthropomorphen und den Menschen schon Walkhoff und vor allem sein Schüler Goerke berichtet, aber freilich in einer viel allgemeineren und keineswegs vollständigen Weise. Beide haben aber die Tatsache erkannt, dass mit dem Alveolargebiet des Oberkiefers zwei wichtige Hauptgruppen trajektorieller Bahnen in Zusammenhang stehen, nämlich im vorderen Gebiet Trajektorien der Frontzähne und Prämolaren in der äusserlich erkennbaren Crista canina, die zur knöchernen Nase laufen, und im hinteren aus den Molarenalveolen stammende Linien, welche in Goerkes Crista alveolo-zygomatica zur Jochbogenwurzel verfolgt wurden. Von Trajektorien im Jochbogen, im Gaumen und von manchen anderen von mir dargelegten trajektoriellen Zügen

ist bei Goerke nichts zu finden. Unsere an den geschilderten Neuweltsaffen gefundenen Verhältnisse zeigen uns daher nicht nur die zwei Hauptgruppen trajektorieller, mit den Zähnen und ihrer Verwendung in Beziehung zu bringender Bahnen, sondern geben uns auch deren Verlauf auf weitere Strecken zu erkennen. Wir vermögen sie in eine Reihe der festeren Knochenwände und Knochenspangen, welche vom Gesichtsteil zum Gehirnteil des Schädels ziehen, zu verfolgen. Wir schliessen daraus auf eine Druckübertragung vom gracilen Kiefergerüst auf die festere Gehirnkapsel, den centralen, wichtigsten Bestandteil des ganzen Schädels. Im ganzen Gesichtsskelet finden sich trajektorielle Bahnen. Sie laufen von einem Knochen in den nächsten fort, als ob keine Nähte sie untereinander trennten, und zeigen, da sie alle in mehr oder minder inniger Beziehung zum Zahnapparat des Oberkiefers gefunden werden, den mächtigen gestaltenden Faktor, der in diesem gegeben ist. Er ist nicht der einzige; so trennen zum Beispiel die Augenhöhlenorgane trajektorielle Bahnen, die unter der Orbita engeren Anschluss aneinander zeigen, nach aufwärts in zwei Schenkel, nämlich einen medialwärts gelegenen nasalen und einen lateralwärts gelegenen im seitlichen Orbitalrand. Aber über der Orbita gewinnen beide Schenkel wiederum Annäherung und Anschluss an die Knochenkapsel des Gehirnschädels. Die Spange des Jochbogens erscheint als eine besonders wichtige trajektorielle Bildung. Sie wurzelt hinten in besonders festen Knochenmassen, die selber wieder durch verstärkte Knochenstützen und Leisten an Seiten- und Bodenteil des Gehirnschädels verankert sind. Diese Stelle trägt an ihrer Unterfläche immer das Widerlager für den Gelenkkopf des Unterkiefers. Am Vorderende aber verbreitert sich der Jochbogen, er pflanzt sich in hochgedehnter Weise seitlich über der Zahnreihe in das Gesichtsskelet ein, dabei nicht nur Beziehungen zum Kieferteil,

die in unserem sog. Einpflanzungskegel (Goerkes Crista alveolo-zygomatica) gegeben sind, sondern auch zum Randgebiet der Augenhöhle gewinnend. Seine Trajektorien, hinten in dem festen Knochen gemeinsam wurzelnd, verlaufend in der freien Spange zunächst annähernd parallel (vielleicht umeinander torquiert), aber vorne strahlen sie fächerartig auseinander, die stärkeren biegen in der Crista alveolo-zygomatica nach unten ins Molarengebiet des Oberkiefergerüstes, andere nach oben im Oberrand der Gesamteinpflanzung (man könnte ihn Crista orbita-zygomatica nennen) zum unteren Teil der seitlichen Orbitalwand ab. Schwächere Züge setzen sich zwischen beiden mehr gerade fort zum Unterrandgebiet der Augenhöhle. Das ist grundsätzlich bei allen untersuchten Formen gleichartig, im einzelnen wechseln die Verhältnisse sowohl bezüglich der Entfaltung und Formgestalt des freien Jochbogens, wie auch bezüglich der Lage seiner Einpflanzungsstelle in die Maxilla. Dass zwischen der letzteren und der Stärkenentfaltung der unter ihr stehenden Molaren innigste Beziehungen bestehen, geht aus meinen obigen Ausführungen hervor. Sie gewinnen besonders Gewicht aus dem Nachweis der hier bestehenden trajektoriellen Bahnen, welche bei allen untersuchten Affengenera in jugo-alveolären Trajektorien gegeben sind und immer ganz besonders zu den Alveolarkörben der jeweils grössten unter den Molaren verfolgt werden konnten. Diese waren bei den verschiedenen Affen in verschiedenen Zähnen gegeben, bei Cebus in M_1, bei Mycetes in M_2, bei Lagothrix war ein irgendwie erheblicher Grössenunterschied zwischen M_1 und M_2 nicht nachweisbar. Ist hier also die Stelle, wo ein Trajektorium seine stärkste Ausbildung zu erkennen gibt, eine wechselnde, so gilt bei vergleichender Betrachtung auch ein Wechsel im Ausbildungsgrad gewisser Trajektorien. Sie sind allgemein bei Mycetes kräftiger als bei Cebus, anscheinend aber nicht für

alle Einzeltrajektorien im gleichen Grade. Man kann sich das so vorstellen, dass ein bestimmtes Trajektorium bei einer Tierform eine bedeutsamere Rolle spielt als bei einer anderen, bei der einen ist es mehr eine Hauptbahn, bei der anderen mehr eine Nebenbahn in funktioneller Hinsicht. Das gibt Anhaltspunkte für die Entstehung der Formenfülle im Schädel ab, die sich als Ausdruck funktioneller Beziehungen darbietet.

Verlockend erscheint mir auch der Vergleich zwischen den trajektoriellen Strukturen im Ober- und Unterkieferapparat, denn dass diese untereinander in engster Korrelation stehen müssen, ist von vornherein wahrscheinlich, da ja die Ober- und Unterkieferzähne nur in gemeinsamer Wirkung ihre Bedeutung haben. In der Tat sind innigste Beziehungen nachweisbar. Soweit ich sie bisher zu erkennen vermochte, bringe ich sie in den Figuren 20—22 auf Tafel 2 in schematischer Weise zum Ausdruck.

Die gitterartigen Alveolarstrukturen (Alveolarkörbe) sind im Ober- und im Unterkiefer in alveoläre Längstrajektorien verankert. In jedem der beiden Kiefer gibt es dabei Bahnen, die hauptsächlich in den äusseren, und solche, die in den inneren Alveolarwänden verlaufen. Am Unterkiefer treten beide Züge hinter der Zahnreihe zusammen und setzen sich schräg durch den Kieferast aufsteigend zum Gelenkkopf fort, am Oberkiefer hängen sie zwar zum Teil auch hinter dem letzten Molaren zusammen, aber der Hauptsache nach verlaufen sie selbständig, das innere in die Wurzel des Processus pterygoideus, das äussere in die Hinterwand des Maxillarkörpers. Andere trajektorielle Bahnen fixieren nun dieses alveoläre Grundgerüst. Sie tragen es gewissermassen im Unterkiefer, während jenes im Oberkiefer durch sie am Gehirnschädel aufgehängt erscheint. Doch drückt diese Betrachtungsweise ihre funktionelle Bedeutung keineswegs vollständig aus, denn wenn sich am Unterkiefer ein Zug nach oben geltend macht, wie es beim Kiefer-

schluss der Fall ist, wo jetzt die Unterkieferzähne gegen die oberen gedrängt werden, müssen auch die Aufhängetrajektorien des Oberkiefers auf Druck in Anspruch genommen werden. Auf den ersten Blick erscheint somit die trajektorielle Gestaltung der Alveolarfortsätze im Ober- und Unterkiefer nur die Bedeutung zu haben, alle Zähne einer Reihe zu einheitlicher Wirkung zusammenzuschliessen und man könnte meinen, dass diese Einheitlichkeit auch gleiche Belastung für alle Zähne bedeute. Das ist nicht der Fall, wie aus der Tatsache zu entnehmen ist, dass einer bestimmten Trajektoriengruppe für die einfacher gebauten Vorderzähne (Incisivi, Caninus und Prämolaren) eine andere gegenübersteht, welche mit den Alveolarkörben der Molaren sich in Beziehung findet. Im Oberkiefer führt die erstere dieser Bahnen hauptsächlich gegen die knöcherne Nase, die letztere hauptsächlich zum Jochbogen. Schwächere Züge von beiden Gebieten stehen mit dem seitlichen Orbitalrand in Verbindung. Auch im Unterkiefer ist eine Gegensätzlichkeit zwischen den Trajektorien nicht zu verkennen, welche zu den einfacheren Vorderzähnen aufsteigen, und jenen, die vom Gebiet vor dem Kieferwinkel zu den Alveolen der Molaren ziehen. Darin prägt sich wohl eine funktionelle Unterschiedlichkeit aus. Für sie gewinnen wir Verständnis, sobald wir den beim Kaumechanismus des Kieferschlusses ganz besonders beteiligten Muskeln unsere Aufmerksamkeit schenken. Dabei will ich sie nur insoweit hier berücksichtigen, als sie kieferhebend wirken und von der seitlichen Verschiebung sowie antero-posterioren Bewegungen hier absehen. Auch diese Bewegungen und ihre Beziehungen zu den trajektoriellen Strukturen des Kieferapparates verdienen volle Beobachtung und müssen später genau erforscht werden. Meine Ziele sind aus äusseren Gründen enger gesteckt. Schliessmuskeln des Kiefers sind Temporalis, Masseter und Pterygoideus internus. Ersterer ist, wie schon aus der Tatsache hervorgeht, dass sein Angriffs-

punkt nahe dem Kiefergelenk liegt, ein Muskel von entscheidender Bedeutung für die Geschwindigkeit des Kieferschlusses. Masseter und Pterygoideus internus wirken anders, ihre gewaltige Kraftleistung kommt eigentlich erst zur vollen Geltung, wenn die Nahrung erfasst ist und nun zermalmt werden soll. Sie wirken nicht rasch, sondern umgekehrt allmählich. Beide greifen unten im Gebiet des Kieferwinkels an, oben hat der Masseter Ursprung vom Jochbogen, namentlich von dessen vorderstem Teil dicht über dem Einpflanzungskegel, der Pterygoideus internus kommt aus der Flügelgrube. Nun finden wir Beziehungen zwischen den Anheftungsstellen dieser Muskeln und unseren Trajektorien des Molarengebietes, die mir bedeutsam zu sein scheinen. Im Oberkiefer ist es das Trajectorium jugo-alveolare, im Unterkiefer das hauptsächlich zur Incisura praeangularis convergente Trajectorium radiatum, welche in Relation mit der Wirkung des Masseters in Zusammenhang stehen dürften. Bei der Kontraktion des nach dem Prinzip eines Krafthebels tätigen Masseters übermitteln sie den Druck auf die molariformen Zähne. Am Unterkiefer kann aber das Trajectorium radiatum auch mit dem Pterygoideus internus in genau gleichen Beziehungen stehen. Im Oberkiefer ist dies für das jugo-alveoläre Trajektorium ausgeschlossen. Es geht ja aus dem Jochbogen hervor und seine Einstrahlung erfolgt (Fig. 21) von oben lateral nur gegen den buccalen Kronenteil der Molaren. Dieser ist bekanntlich immer der stärker entwickelte. Nur für M_3, auf welchen sich das jugo-alveoläre Trajektorium relativ am wenigsten geltend macht, können sich die Verhältnisse umkehren. Der palatinale Kronenteil der Oberkiefermolaren steht dagegen nicht in gleicher Weise unter einem direkten Jochbogendruck. Dieser innere Teil ist durch die trajektoriellen Querlinien im Gaumen und durch das innere alveoläre Längstrajektorium zur Wurzel des Flügelfortsatzes verankert. Letztere ist die Ursprungsstelle des Pterygoideus internus. Ich bin mir

über die funktionelle Bedeutung dieser Beziehungen noch nicht ganz klar geworden, aber die Vermutung, dass solche wirklich bestehen, ist nicht von der Hand zu weisen. Einfach liegen die Verhältnisse sicher nicht, der Gaumen ist ja z. B. nicht nur eine einfache Querplatte, sondern selbst ein Gewölbe, auf das der von aussen sich geltend machende Seitendruck des Jochbogens auch einen gewissen Einfluss haben dürfte. Fassen wir einmal die gewölbte Gaumenbrücke unserer Fig. 21 als Feder auf und denken wir uns den Jochbogendruck wirksam, dann müsste diese Feder die Tendenz haben, sich stärker zu wölben. Das kann sie nun aber nicht, weil auf ihrer Kuppe das Septum osseum nasi als eine zum Hirnschädel leitende Versteifung aufsitzt. Auch die Seitenwände der Nasenhöhle wirken als ähnliche Versteifungen. Wenn nun aber die Feder sich nicht stärker zu wölben vermag, so wird daraus auch hier wieder der Druck nach unten resultieren. Die Stellung der inneren (palatinalen) Molarenwurzeln ist in der Tat eine solche, dass die Annahme solcher Beziehungen einleuchtend erscheint. Aber wie gesagt, das ist vorläufig erst ein Weg zum Verständnis funktioneller Beziehungen, ob er der einzige und richtige ist, müssen erst weitere Forschungen lehren. Tatsache ist jedenfalls, dass die Quertrajektorien im Gaumen gegenüber den Längszügen in ihm im Vordergrund stehen und gerade im Molarengebiet die stärkste Ausprägung zeigen.

Auch die im Oberkiefer und Unterkiefer (in ersterem deutlicher) ausgeprägte Sonderung der das alveoläre Grundgerüst aufhängenden resp. tragenden Trajektorien in zwei Gruppen scheint mir funktionelle Gründe zu haben. Das Vorderkiefergebiet hat seine Hauptbedeutung als Apparat zum Erfassen der Nahrung, das hintere beim Zermalmen derselben. Bei aller Zusammenfassung der Zähne durch alveoläre Längstrajektorien zu geschlossenen Zahnreihen verlieren die Zähne und Zahngruppen nie ihre individuelle Bedeutung. Daraus resultiert die

spezielle Sonderung von Einzeltrajektorien. Durch sie stellen sich für jeden Zahn etwas wechselnde Bedingungen zur Entfaltung seiner Leistungsfähigkeit ein. Aber in der Zusammenfassung zu Trajektoriengruppen und Systemen prägt sich grössere Gemeinsamkeit unbeschadet der individuellen Einzelwirkung aus. Hier steht ein vorderes Gebiet im Gegensatz zu einem hinteren. Das vordere ist hauptsächlich entstanden in Anpassung an die Wirkung des Temporalis, es ist das Trajektoriensystem des schnellwirkenden Kieferschlusses und seine Strukturen im Ober- und Unterkiefer müssen untereinander in engste Beziehung gebracht werden; das hintere System ist jenes der grössten Kraftentfaltung, bedingt durch Masseter und Pterygoideus internus und auch hier wiederum an beiden Kiefern in engeren, inneren Relationen. Die stärkere Einheitlichkeit der Unterkieferkonstruktion prägt die Trennung beider Systeme minder deutlich aus, während im Oberkieferapparat die Sonderung schärfer wird und durch Faktoren, die im bedingenden Einfluss anderer Kopforgane zu suchen sind, sich die Verhältnisse weiter komplizieren. Im ganzen betrachtet steht der vorderen Geschwindigkeitszange die hintere Kraftzange gegenüber.

Meine Ausführungen enthalten in diesem letzten Abschnitt noch viel Hypothetisches, dessen bin ich mir wohl bewusst. Sie rufen eine Menge von neuen Fragen hervor, die nur in weiteren Forschungen gelöst werden können. Dass solche aufgenommen werden möchten, ist mein herzlichster Wunsch, denn darüber, dass ein trajektorieller Bau des Kiefergerüstes auch bei anderen Tierformen, auch beim Menschen bestehen muss, und dass bei der Fülle der Differenzen in bezug auf Zahnbau, Zahngrösse und Schädelgestalt, die da vorkommt, sich viele trajektorielle Umgestaltungen zeigen werden, hege ich keine Zweifel. Nur die Berücksichtigung aller Beziehungen

zwischen Schädelgestalt, Zahnbau und Kiefermuskulatur wird hier verwickelte Fragen allmählich klären können.

Die vorliegende Arbeit ist in der Dr. Senkenbergischen Anatomie der Universität Frankfurt a. M. (Direktor Professor Dr. E. Göppert) in den Jahren 1916 und 1917 auf Anregung und unter Leitung von Herrn Professor Dr. H. Bluntschli ausgearbeitet worden. Dem Direktor des anatomischen Institutes, Herrn Professor Dr. Göppert, wie auch dem Leiter des zahnärztlichen Institutes (Carolinum), Herrn Professor Dr. Loos, verdanke ich liebenswürdigste Förderung meiner Arbeit durch Überlassen eines Arbeitsplatzes und Erlaubnis zu den Röntgenaufnahmen, welche durch die Oberin der Frankfurter Zahnklinik, Fräulein L. de Bary, ausgeführt wurden. Gerade diese Hilfe hat meine Studien wesentlich erleichtert. Bei der Schwierigkeit des technischen Vorgehens, das auch mir bei manchen Aufnahmen ungünstige Resultate lieferte, ward mir ihre reiche Erfahrung auf diesem Gebiet zu grossem Nutzen. Auch Fräulein de Bary gebührt daher aufrichtiger Dank. Hauptsächlich möchte ich aber an dieser Stelle meinem verehrten Lehrer, Herrn Professor Dr. Bluntschli, meinen herzlichsten Dank aussprechen für die immer neuen, mannigfaltigen Anregungen, die er mir bei meiner Arbeit in reichstem Masse zuteil werden liess.

Bemerkung zu den Figuren

auf Tafel 1 u. 2 und den Textabbildungen.

Es war ursprünglich meine Absicht dieser Arbeit sämtliche entscheidenden Röntgogramme in direktem Kopieverfahren beizugeben. Unter dem Druck der Kriegsverhältnisse war dies nicht möglich und bin ich der Verlagsbuchhandlung zu grossem Dank verpflichtet, dass sie die Drucklegung und die Beigabe der nach dem Autotypieverfahren hergestellten Tafel 1 ermöglichte. Sind auch die Figuren auf derselben nicht ganz so scharf und die trajektoriellen Strukturen nicht ganz so augenfällig wie in den Originalaufnahmen, so gestatten diese Bilder namentlich bei Lupenbetrachtung das Erkennen aller wichtigen Trajektorien. Es handelt sich durchwegs um absolut unretuschierte Aufnahmen. Im Vergleich dieser Bilder mit den Textfiguren gleicher Numerierung und dem zu diesen gehörigen Text ergibt sich die Figurenerklärung von selbst. Diese Textfiguren in Strichmanier von Röntgenbildern wurden so gewonnen, dass mit feiner Feder und Tusche auf einem photographischen Abzug alle Linien nachgefahren wurden und später die photographische Aufnahme auf chemischem Wege wieder entfernt wurde. Wie weit diese Federzeichnungen Anspruch auf Genauigkeit machen können, darüber vermag sich der Leser durch Vergleich mit den Tafelfiguren genügende Klarheit zu verschaffen. Während die Figuren auf Tafel 1 in natürlicher Grösse reproduziert wurden, sind die Federzeichnungen von Röntgogrammen in den Textfiguren 5—9, 11—15, 18 und 19 auf $^4/_5$, in Textfigur 16 und 17 auf $^3/_4$ verkleinert worden.

Die Figuren 20—22 auf Tafel 2 sind schematisierte Darstellungen, welche sich hauptsächlich auf die Befunde bei Lagothrix stützen, aber auch die Cebus- und Mycetesbefunde insoweit berücksichtigen, dass alle von mir beschriebenen trajektoriellen Züge graphische Darstellung fanden. Fig. 20 ist die Seitenansicht, Fig 21 ein Schädelquerschnitt durch das Molarengebiet, Fig. 22 eine Aussicht auf den Gaumen.

Literatur.

1. Adloff, Greifswald, Die Entwicklung des Zahnsystems der Säugetiere und des Menschen, eine Kritik der Dimertheorie von Bolk. (Verlag Engelmann, Leipzig 1912.)
2. Bluntschli, H., Zur Phylogenie des Gebisses der Primaten mit Ausblicken auf jenes der Säugetiere überhaupt. (Jahrgang 56 der Züricher naturforschenden Gesellschaft 1911.)
3. — Das Plathyrrhinengebiss und die Bolk'sche Hypothese von der Stammesgeschichte des Primatengebisses. (Verhandlungen der anatomischen Gesellschaft 1911.)
4. Fick, Rudolf, Handbuch der Anatomie und Mechanik der Gelenke, II. Teil: Allgemeine Gelenk- und Muskelmechanik. (Fischer, Jena 1910.)
5. Fischer, Guido, Bau und Entwicklung der Mundhöhle des Menschen unter Berücksichtigung der vergleichenden Anatomie des Gebisses und mit Einschluss der speziellen mikroskopischen Technik. (Verlag Klinkhardt, Leipzig 1909.)
6. Gebhardt, Über den Skelettbau mit dünnen Platten. (Anatomischer Anzeiger, Ergänzung zum 38. Band, Verhandlungen der anatomischen Gesellschaft auf der 25. Versammlung, Leipzig 1911.)
7. — Auf welche Art der Beanspruchung reagiert der Knochen jeweils mit der Ausbildung einer entsprechenden Architektur? (Archiv für Entwicklungsmechanik der Organismen, 16. Band 1903.)
8. — Über die funktionelle Knochengestalt. (Verhandlungen der deutschen Gesellschaft für orthopädische Chirurgie, Beilageheft der Zeitschrift für orthopätische Chirurgie, 27. Band, Berlin 1910.)
9. Goerke, Beitrag zur funktionellen Gestaltung des Schädels bei den Anthropomorphen und dem Menschen durch Untersuchung mit Röntgenstrahlen. (Archiv für Anthropologie, 29. Nachfolge.)
10. Loos, Ursache des Längerwerdens der Zähne bei fehlenden Antagonisten. (Strassburg 1909.)
11. Roux, Wilhelm, Gesammelte Abhandlungen über Entwicklungsmechanik der Organismen, I. Band, funktionelle Anpassung. (Verlag Engelmann, Leipzig 1895.)
12. — Terminologie der Entwicklungsmechanik der Tiere und Pflanzen. (Verlag Engelmann, Leizig 1912.)
13. Strasser, Hans, Lehrbuch der Muskel- und Gelenkmechanik, II. Band. (Verlag Springer, Berlin 1913.)

14. Triepel, Hermann, Einführung in die physikalische Anatomie. (Verlag Bergmann, Wiesbaden.)
15. — Architekturen der Spongiosa bei anormaler Beanspruchung der Knochen. (Anatomische Hefte. I. Abteilung, 75. Heft, 25. Band.)
16. — Über mechanische Strukturen. (Anatomischer Anzeiger, Band 23.)
17. Walkhoff, München, Der Unterkiefer der Anthropomorphen und der Menschen in seiner funktionellen Entwicklung und Gestalt. (Studien über Entwicklung und Schädelbau der Anthropomorphen. Herausgegeben von E. Selenka, Verlag Kreidel, Wiesbaden 1902.)
18. — Der menschliche Unterkiefer im Lichte der Entwicklungsmechanik. (Deutsche Monatsschrift für Zahnheilkunde 1899 1900.)
19. Wolff, Julius, Das Gesetz der Transformation der Knochen. (Verlag Hirschwald, Berlin 1892.)
20. Zuckerkandl, Anatomie der Mundhöhle mit besonderer Berücksichtigung der Zähne. (Verlag Hölder, Wien 1891.)

Fig. 5a.

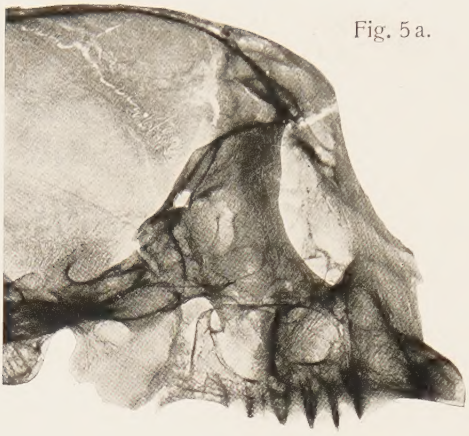

Fig. 8a.

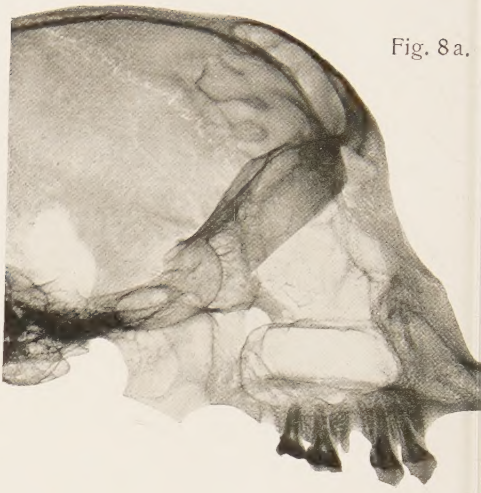

Fig. 12a.

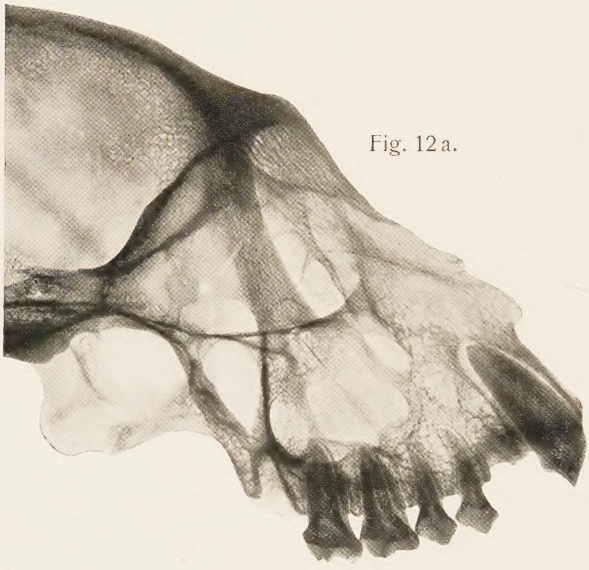

Fig. 6a.

Fig. 7a.

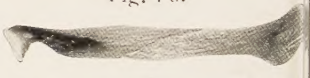

Fig. 15a.

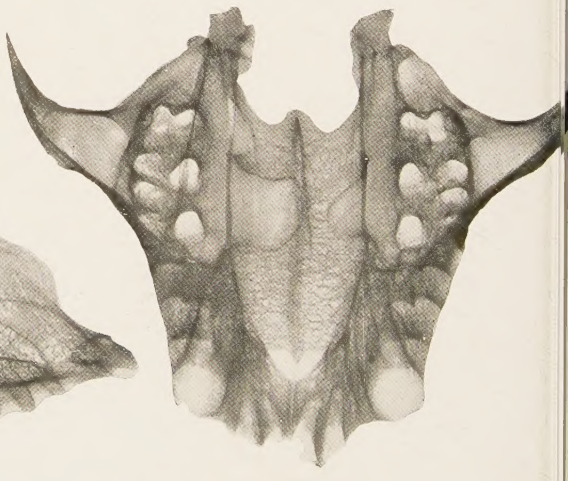

Fig. 14a.

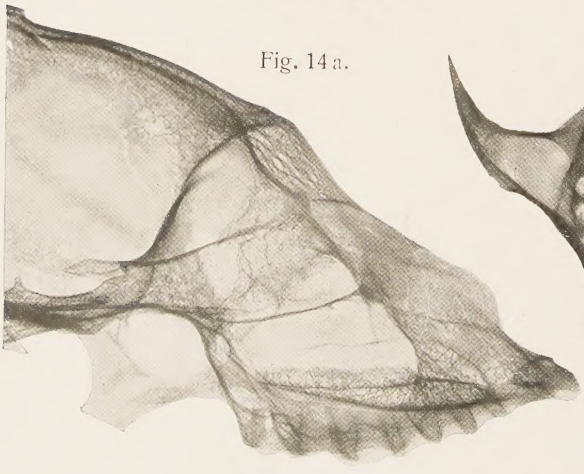

Fig. 17a.

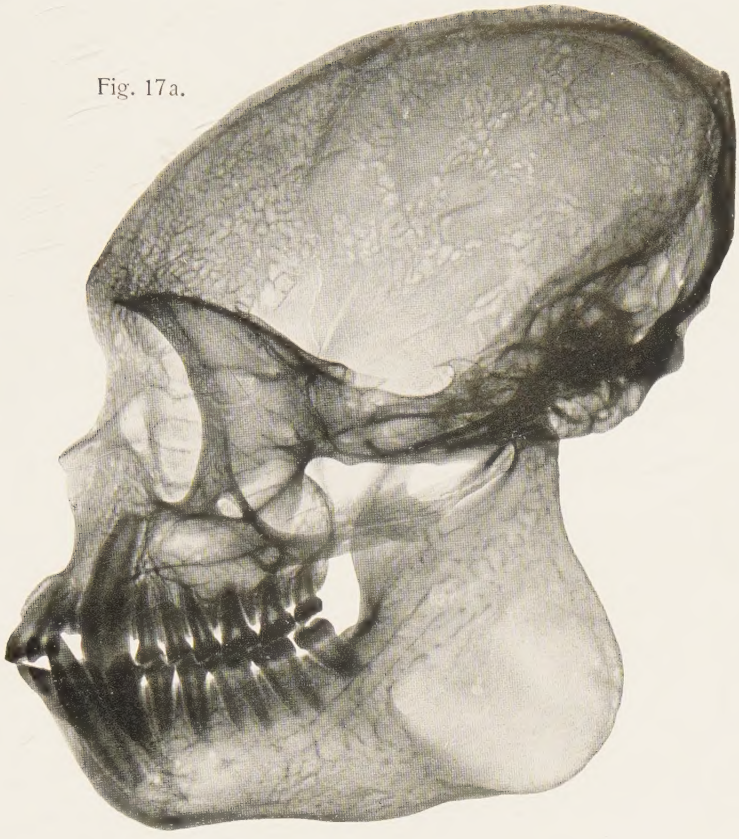
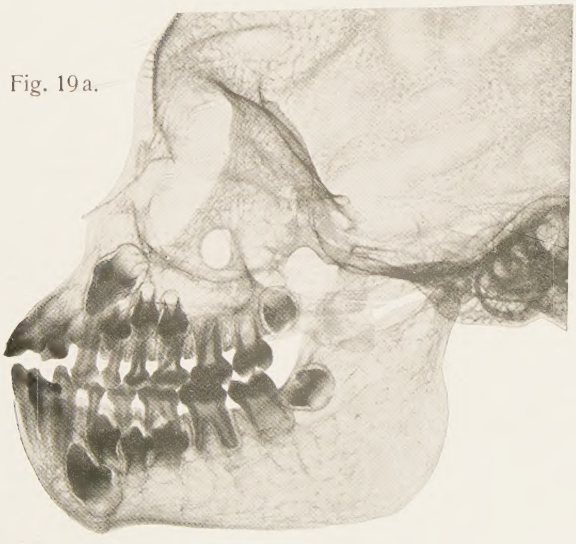
Fig. 19a.